Editora Bernoulli

FÍSICA

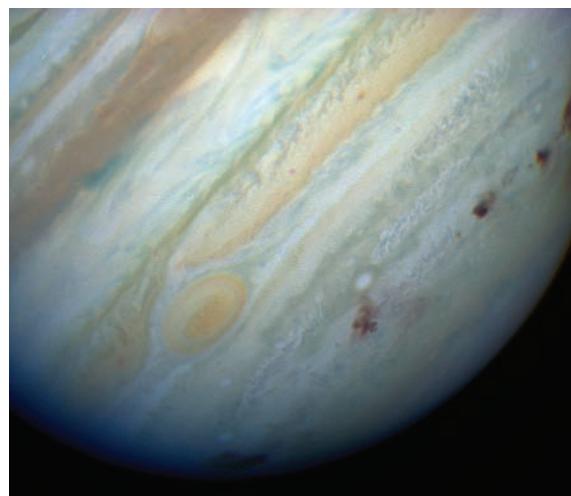
Volume 01

Sumário - Física

FÍSICA

MÓDULO 01 FRENTE A

Introdução à Cinemática escalar e Movimento Uniforme

O estudo do movimento pode ser considerado como o ponto de partida para o que chamamos hoje de Ciências da Natureza. Ao voltar seus olhos (e pensamentos) para os céus, os homens, através dos tempos, perceberam que a maioria das luzes formavam figuras nos céus e que estas se mantinham com o mesmo formato ao longo das estações. Porém, algumas poucas luzes (planetas, que, em grego, quer dizer estrelas errantes) mudavam constantemente de posição, sempre se movendo ao longo de uma estreita faixa no céu, a mesma faixa na qual se moviam o Sol e a Lua. A busca da compreensão desse fenômeno da natureza, com a criação de teorias para as causas desses movimentos e com a previsão do horário e do local de surgimento de determinado astro, marcou o início do árduo esforço do pensamento humano para construir um modelo do mundo onde vivemos. O estudo do movimento dos corpos celestes e, posteriormente, o estudo dos objetos na superfície da Terra deram início à chamada Revolução Científica.

Didaticamente, dividimos o estudo dos movimentos em duas partes, uma associada aos movimentos e suas causas, a Dinâmica, e outra associada à descrição dos movimentos, a Cinemática.

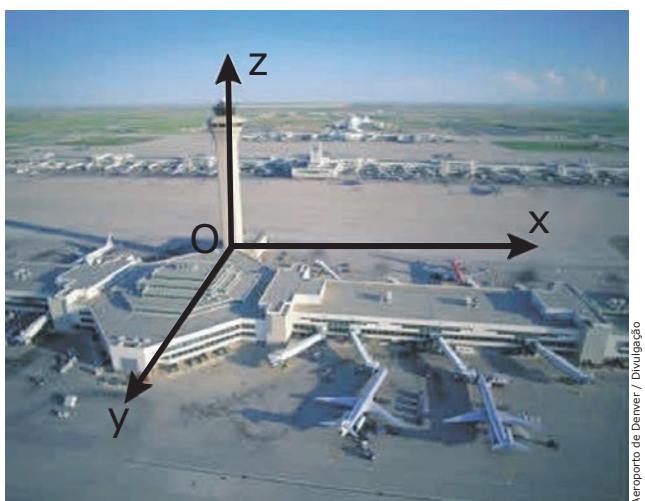
Este módulo é dedicado à descrição dos movimentos mais simples e envolve o estudo de grandezas como posição, velocidade, trajetória, entre outras. Neste módulo, iniciaremos o estudo da Cinemática, abordando o movimento com velocidade constante.

POSIÇÃO E TRAJETÓRIA

Se o planeta Júpiter, mostrado na figura, fosse uma esfera oca, caberiam dentro dele cerca de 1 000 planetas Terra, aproximadamente. Apesar disso, quando visto da Terra, a olho nu, Júpiter não passa de uma bela “estrela” brilhante. Quando a dimensão dos corpos envolvidos na descrição de um movimento (os móveis) não for importante para a análise da situação, esses corpos serão chamados de **pontos materiais**, em oposição ao termo **corpos extensos**. Desse modo, Júpiter é considerado um ponto material, quando desejamos prever e observar o instante de seu nascimento no horizonte, em um determinado dia.

Mas, para entender por que o cometa Shoemaker-Levy 9, em 1994, se desintegrou em vários pedaços antes de colidir com Júpiter (pontos escuros da figura a seguir), temos de considerá-lo condensado como um corpo extenso.

Hubble Space Telescope Comet Team and NASA
Disponível em: <http://www.nasa.gov>

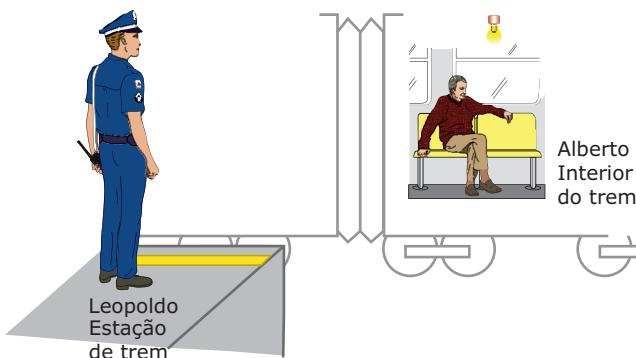
Júpiter pode ser considerado um ponto material ou um corpo extenso, dependendo da situação que desejamos estudar.

Apresentamos a seguir dois conceitos que estão intimamente associados: posição e trajetória. Ao pensarmos em um dos conceitos, o conectamos imediatamente ao outro. Veja a figura a seguir, que mostra o rastro de aviões de exibição.

SXC

A fumaça liberada pelos aviões de exibição pode nos indicar a trajetória deles no ar.

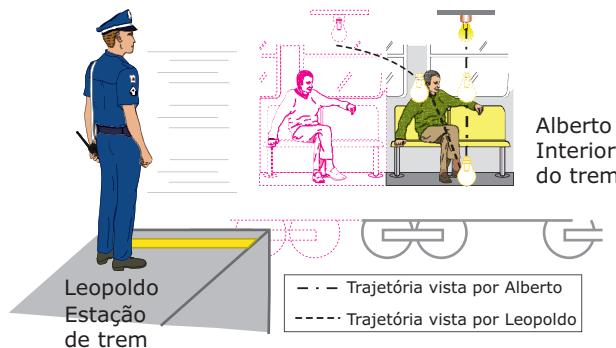
Denominamos de trajetória o conjunto de posições sucessivas ocupadas por um móvel. Para que possamos localizar a posição de um móvel no espaço, podemos utilizar vários métodos. Por exemplo, para localizar a posição de um avião no espaço, podemos utilizar, na torre de comando do aeroporto, um sistema de coordenadas cartesianas, com eixos x, y e z perpendiculares entre si, que nos auxiliarão a localizar as posições ocupadas pelo avião em momentos diferentes de seu movimento. Iremos considerar um ponto da base da torre de comando como a origem de nosso sistema de coordenadas, usualmente representada pela letra O, e iremos escolher uma unidade de comprimento para a escala dos eixos x, y, z. Utilizando tais convenções, podemos localizar a posição do avião no espaço, em qualquer posição que ele esteja. Observe que, no exemplo apresentado, os valores das posições do avião em relação aos eixos x, y e z podem ser positivos ou negativos.

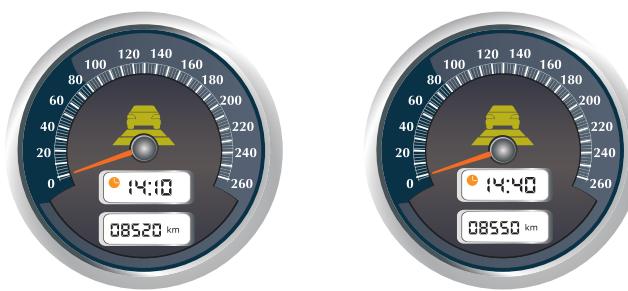
Um operador de radar que estivesse na base da torre de comando, se preparando para ir trabalhar, ocuparia a posição representada pela letra s, cujas coordenadas seriam x = 0, y = 0 e z = 0, isto é, s = (0, 0, 0). Já um colega de trabalho que está prestes a ser substituído ocuparia a posição s' = (0, 0, 60 m), considerando que a sala de comando esteja a 60 m de altura em relação à base da torre (origem do sistema de coordenadas).

PARA REFLETIR

Um caminhão ocupa a posição s = 450 km da BR 101, que liga o Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul. Isso indica que o caminhão percorreu 450 km? Podemos dizer que ele está indo para o Rio Grande do Sul?

REFERENCIAL E A FORMA DA TRAJETÓRIA

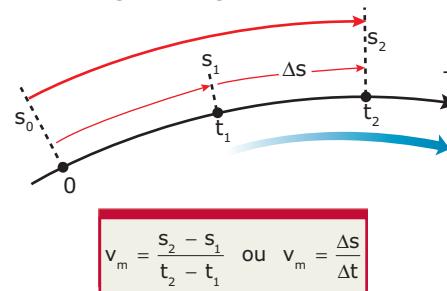
Responda rápido: você está em repouso ou em movimento no momento em que está lendo este trecho do texto?

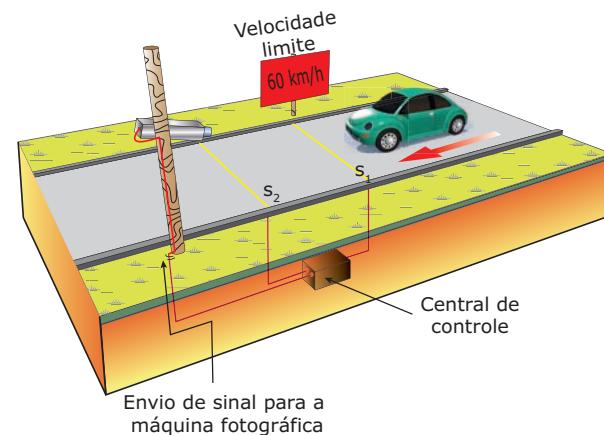
Caso você tenha pensado bem, provavelmente respondeu... *depende*. A noção de movimento ou de repouso é sempre relativa a outro objeto. Estamos em repouso em relação à cadeira em que estamos sentados, mas estamos em movimento em relação a alguém que se encontra na Lua, em uma estação orbital ou em um carro que passa na rua. O corpo em relação ao qual identificamos se um objeto encontra-se ou não em movimento é denominado **referencial** ou **sistema de referência**. Na maioria dos exemplos citados em nosso curso, e em nosso cotidiano, utilizamos o solo (Terra) como nosso sistema de referência. De tão utilizado como sistema de referência, muitos o consideram condesado como um sistema absoluto, mas isso não é correto. Movimento e repouso são sempre conceitos relativos. Se a posição de um objeto variar em relação a um determinado referencial, à medida que o tempo passa, então esse objeto encontra-se em movimento em relação a esse referencial.

Assim como o movimento e o repouso são conceitos relativos, a trajetória observada de um objeto em movimento também o é. O movimento de um corpo, visto por um determinado observador, depende do referencial em que se encontra esse observador. Por exemplo, considere um trem que está passando em uma estação, conforme representado na figura a seguir. Para Alberto, um passageiro do trem, a lâmpada L, fixa no teto do vagão, está parada. Entretanto, essa mesma lâmpada está em movimento para Leopoldo, o guarda que se acha na plataforma.

Para o passageiro, a lâmpada está em repouso, mas, para o guarda, ela está em movimento.

O mesmo raciocínio pode ser usado para o estudo da trajetória de um corpo. Por exemplo, na situação anterior, imagine que a lâmpada se desprenda do teto e caia em direção ao piso do trem. Em relação ao referencial da estação, a lâmpada continuará se movendo para a direita, com a mesma velocidade do trem. Na direção vertical, a velocidade da lâmpada aumentará durante a queda.

O resultado dessa composição de movimentos é que Leopoldo enxerga a lâmpada caindo e se deslocando para a direita, segundo uma trajetória curvilínea. Como Alberto, dentro do trem, se movimenta para a direita com a mesma velocidade horizontal da lâmpada e do trem, ele vê a lâmpada caindo verticalmente. Exploraremos situações como essa, de forma mais detalhada, quando abordarmos o estudo da composição de movimentos.

VELOCIDADE ESCALAR MÉDIA

Agora, vamos definir a velocidade escalar média de um corpo em movimento. Esse conceito é muito importante, e iremos utilizá-lo em várias situações. Para entender a ideia de velocidade média, imagine a seguinte situação: em uma manhã, um homem sai de carro para o trabalho e decide registrar o tempo que gasta para chegar a seu destino e também a distância percorrida nesse trajeto. Para isso, ele anota a quilometragem do carro quando sai de casa e também quando chega ao trabalho, bem como os respectivos instantes de tempo (a hora do dia). Para esse fim, utilizou o hodômetro e o relógio do painel do carro, obtendo os valores indicados nas figuras seguintes:

De acordo com as leituras da quilometragem e da hora feitas no painel do carro nos dois momentos, o carro percorreu uma distância de 30 km em um intervalo de tempo igual a 0,5 hora. Isso significa que, nesse mesmo ritmo, em uma hora, ele percorreria 60 km, isto é, sua velocidade escalar média é de 60 km/h. Definimos a velocidade escalar média da seguinte forma:

$$v_m = \frac{\text{distância total percorrida}}{\text{tempo total gasto}}$$

Observe que, se você substituir, nessa equação, a distância percorrida pelo carro e o tempo gasto para percorrê-la, você obterá exatamente o valor da velocidade escalar média que nós havíamos intuído: $v_m = 30/0,5 = 60$ km/h. Esse valor não indica que o carro tenha percorrido o trajeto de casa ao trabalho sempre com a velocidade de 60 km/h. Em alguns momentos, o motorista deve ter parado o carro em alguns cruzamentos, em outros, o motorista deve ter aumentado a velocidade de seu carro a um valor acima de 60 km/h para, por exemplo, ultrapassar outro veículo. A interpretação do valor da velocidade média é a seguinte: se o carro se movesse sempre a 60 km/h (situação teórica), ele percorreria a distância em questão no mesmo intervalo de tempo da situação real.

De modo geral, define-se a velocidade escalar média de um ponto material como a razão entre a variação de posição (Δs) e o intervalo de tempo gasto (Δt), como representado na figura a seguir:

$$v_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} \quad \text{ou} \quad v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

VELOCIDADE ESCALAR INSTANTÂNEA

A figura seguinte representa um dispositivo para medir a velocidade de automóveis instalado nas ruas de algumas cidades do Brasil.

Representação do esquema de um sensor de velocidade utilizado em vias urbanas.

Simplificadamente, os "radares" funcionam da seguinte maneira: dois sensores são instalados na pista, um a poucos metros de distância do outro. Esses sensores detectam a presença de objetos que tenham metal e disparam quando um objeto metálico passa por eles.

Dessa forma, quando um automóvel passa sobre o primeiro sensor, este dispara um cronômetro. Quando o automóvel passa sobre o segundo sensor, o cronômetro cessa a medição. Um computador registra o intervalo de tempo decorrido entre esses dois instantes. Sabendo a distância percorrida entre os sensores, fornecida pelos técnicos que instalaram o dispositivo, e o intervalo de tempo gasto para percorrê-la, é possível determinar o ritmo em que as posições do automóvel variaram, isto é, pode-se determinar a velocidade média do carro em um intervalo de tempo muito pequeno, ou seja, podemos determinar a **velocidade escalar instantânea (v)** do automóvel.

$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, quando Δt é muito pequeno (tende a zero).

Podemos citar outras situações em que um intervalo de tempo tende a zero. Por exemplo, quando registramos uma cena na qual um objeto se move, utilizando uma máquina fotográfica, podemos obter resultados variados: às vezes, os objetos em movimento aparecem "borrados" na imagem e, outras vezes, aparecem "estáticos". Tudo isso está associado ao intervalo de tempo (Δt) utilizado para registrar a cena. Se o intervalo de tempo é grande, a fotografia dos objetos que se movem aparece "borrada"; caso contrário, a imagem aparece "estática", mesmo que os objetos estejam a grandes velocidades.

Editoria de Arte

As imagens fotográficas são registradas quando uma superfície sensível recebe luz. A primeira imagem foi obtida deixando a luz entrar na máquina durante 1/30 do segundo, enquanto que a segunda foto foi obtida de modo mais rápido, 1/300 do segundo, deixando a imagem final estática.

MOVIMENTO UNIFORME

Em certas, e raras, situações, a posição de um móvel pode variar sempre no mesmo ritmo, isto é, a taxa de variação da posição, em relação ao tempo, é sempre a mesma. Nesse caso, denominamos o movimento do móvel de movimento uniforme (MU). No movimento uniforme, a velocidade escalar instantânea é constante e não nula. Obviamente, nesse caso, a velocidade escalar instantânea iguala-se à velocidade escalar média, isto é:

$$v = v_m \Rightarrow v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

No movimento uniforme, o móvel percorrerá **distâncias iguais em intervalos de tempo iguais**.

O desenvolvimento da equação $v = \Delta s/\Delta t$ resulta em:

$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s - s_0}{t - t_0}$; assumindo que $t_0 = 0$ s, temos:

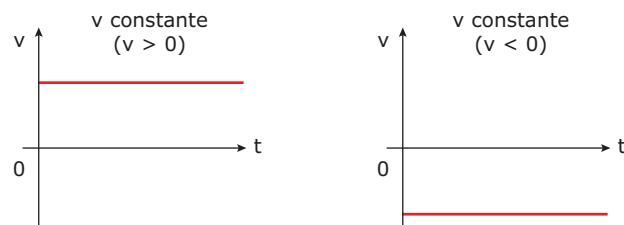
$s = s_0 + vt$ (função horária da posição no MU)

Imagine que um carro tenha saído de um posto de gasolina na beira de uma estrada, no qual estava indicada sua posição na estrada, km 781. Considere que essa seja sua posição inicial (s_0). Se a velocidade do carro é constante e igual a 80 km/h, qual será a sua posição após 4 horas de viagem, sabendo que ele se move no sentido crescente da trajetória?

Podemos raciocinar do seguinte modo:

1.ª) Um carro viajando a 80 km/h, durante 4 h, percorrerá 320 km;

2.ª) Se ele sai do km 781 e percorre mais 320 km no sentido crescente das posições, então ele estará no km 1 101 após 4 h.

Podemos resolver esse problema utilizando a função horária da posição para o MU, $s = s_0 + vt$, que é a expressão matemática do raciocínio usado na resolução anterior.

$s = 781$ km + 80 km/h.4 h = 781 km + 320 km

$s = 1\,101$ km

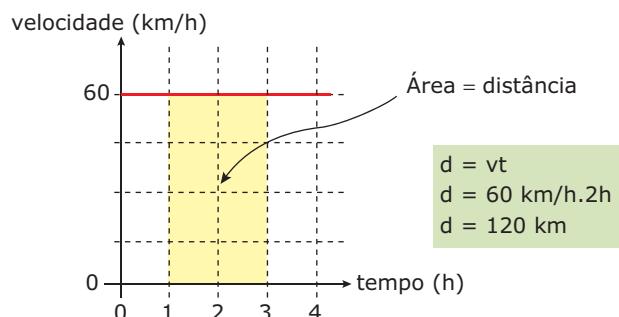
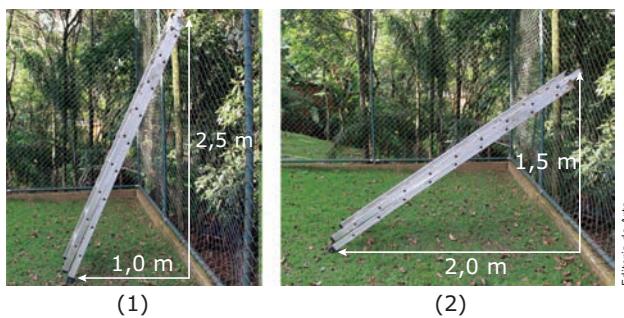



GRÁFICO VELOCIDADE *VERSUS* TEMPO NO MU

Quando o movimento ocorre no sentido crescente das posições (por exemplo, do km 30 para o km 90), ele é denominado **progressivo**, sendo, nesse caso, o valor da velocidade positivo ($v = \Delta s/\Delta t$ e Δs é positivo). Caso o movimento ocorra no sentido decrescente das posições (do km 90 para o km 30), é denominado **retrógrado**, e o valor da velocidade apresenta sinal negativo, pois Δs é negativo. Desse modo, se alguém lhe disser que a velocidade de um carro é de –70 km/h, isso significa que o carro move-se a 70 km/h, no sentido decrescente das posições.

O gráfico da função horária da velocidade, no movimento uniforme, é uma reta horizontal, uma vez que o valor da velocidade é constante, podendo estar acima ou abaixo do eixo do tempo. A figura a seguir mostra o gráfico da velocidade em função do tempo para dois movimentos. No primeiro caso, o movimento é progressivo, v é positivo; no segundo, o movimento é retrógrado, pois o valor da velocidade é negativo.

Veja, na figura seguinte, o diagrama que relaciona a velocidade v com o tempo t, para um automóvel que se move com velocidade constante de +60 km/h e que viaja durante 2 horas.

Observe que a área marcada de amarelo é numericamente igual à variação da posição (distância percorrida) do automóvel no intervalo de tempo de 2 h, ou seja, 120 km. Em qualquer gráfico velocidade *versus* tempo, a área sob a curva do gráfico, para um determinado intervalo de tempo, é numericamente igual à distância percorrida pelo móvel, nesse intervalo de tempo. Lembre-se de que, como a área calculada está na região do gráfico cartesiano em que as ordenadas são positivas, temos que o carro percorreu 120 km no sentido crescente das posições.

GRÁFICO POSIÇÃO *VERSUS* TEMPO NO MU

A função horária da posição no MU é uma função do 1.º grau (y = ax + b). Isso implica que a relação posição *versus* tempo será representada por uma reta. Uma importante característica dessa reta é a sua **inclinação** ou **declividade**, representada pela letra **a**. Veja as duas imagens de uma escada que se encontra apoiada em uma tela e cujas distâncias horizontais e verticais ao chão estão indicadas nas imagens.

(1)

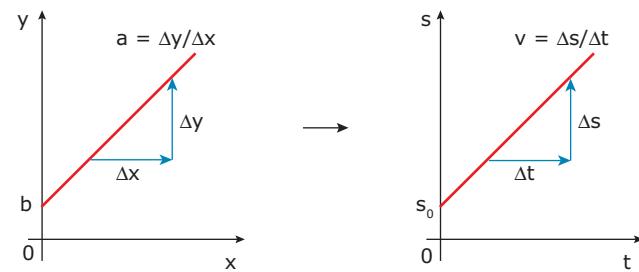
(2)

Editoria de Arte

Observe que a imagem (1) mostra a escada muito inclinada, em relação à horizontal, enquanto que a imagem (2) mostra a escada pouco inclinada. Podemos utilizar os números mostrados nas imagens (1) e (2) para definir a inclinação da escada, da seguinte maneira:

$$\text{Inclinação 1} = \frac{\text{distância vertical}}{\text{distância horizontal}} = \frac{2{,}5\text{ m}}{1{,}0\text{ m}} = 2{,}5$$

$$\text{Inclinação 2} = \frac{\text{distância vertical}}{\text{distância horizontal}} = \frac{1{,}5\text{ m}}{2{,}0\text{ m}} = 0{,}75$$

Para se encontrar a inclinação **a** de uma reta, utiliza-se o seguinte procedimento:

- Marcam-se dois pontos na reta;
- Determina-se a diferença entre os valores das ordenadas e entre os valores das abscissas desses pontos ($y_2 - y_1 = \Delta y$ e $x_2 - x_1 = \Delta x$);
- Calcula-se a razão entre Δy e Δx;
- Inclinação: $a = \dfrac{\Delta y}{\Delta x}$.

A inclinação de uma reta é um conceito extremamente útil que poderá ser utilizado quando uma reta se fizer presente nas representações gráficas.

Dessa forma, após apresentarmos o conceito de inclinação de uma reta, podemos realizar a seguinte analogia, entre a equação geral de uma reta (y = b + ax) e a equação da posição em função do tempo para um objeto em MU ($s = s_0 + vt$):

	Geral	Para o MU
Equações	y = b + ax	$s = s_0 + vt$
Eixo das ordenadas	y	s
Eixo das abscissas	x	t
Ponto em que a reta "corta" o eixo das ordenadas	b	s_0
Declividade ou inclinação	a	v

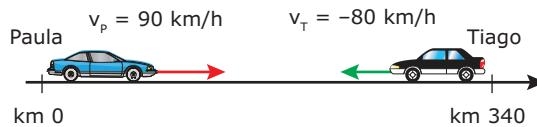
Graficamente, a analogia está representada na figura seguinte:

Assim como o valor da inclinação **a** na equação y = ax + b é constante, o valor da velocidade **v** no movimento uniforme também o é, e pode ser determinado pela inclinação da reta no gráfico de posição *versus* tempo $v = \Delta s/\Delta t$.

OBSERVAÇÕES

1. No movimento retilíneo uniforme, como o movimento ocorre somente em um sentido, o valor da variação das posições será a distância percorrida ($\Delta s = d$).
2. Enquanto Δx e Δy podem assumir tanto valores positivos quanto valores negativos no gráfico de y em função de x, no gráfico posição *versus* tempo, somente os valores de Δs podem ser negativos, pois não há sentido físico para os valores de Δt negativos (o tempo sempre flui para o futuro).

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

01. Tiago e Paula, estudantes de Engenharia – Tiago estudante do IME (Rio de Janeiro - RJ) e Paula do ITA (São José dos Campos - SP) – partem de carro, simultaneamente, cada um da cidade onde estuda, para se encontrarem. As cidades em questão distam 340 km uma da outra. Considere a velocidade do carro de Tiago constante e igual a 80 km/h e a velocidade do carro de Paula constante e igual a 90 km/h. Considere a posição 0 km (origem do sistema de referência) em São José dos Campos.

Determinar

A) o intervalo de tempo gasto para que os dois estudantes se encontrem;

B) a posição da estrada em que os estudantes se encontrarão.

Resolução:

1.º modo

A) As informações do texto podem ser representadas da seguinte forma:

A partir da figura, temos:

Carro da Paula: $s_0 = 0$ e $v_P = 90$ km/h

Carro do Tiago: $s_0 = 340$ km e $v_T = -80$ km/h

(veja o sentido crescente das posições na trajetória).

A função horária da posição de cada carro é $s = s_0 + v_t$, movimento uniforme; logo:

$s_{Paula} = 0 + 90t$ e $s_{Tiago} = 340 - 80t$

No instante em que eles se encontrarem, suas posições serão iguais; logo:

$s_{Paula} = s_{Tiago} \Rightarrow 0 + 90t = 340 - 80t \Rightarrow 170t = 340$

$\Rightarrow t = 2$ h (instante do encontro)

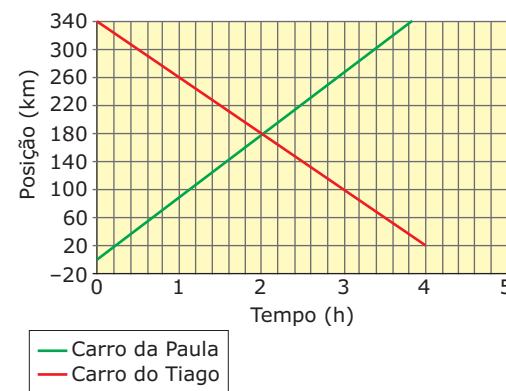
B) Para determinarmos a posição do encontro, basta substituirmos o valor do instante de encontro, 2 h, na função horária de qualquer um dos dois automóveis:

$s_{Paula} = 0 + 90t = 90(2) = 180$ km

$s_{Tiago} = 340 - 80t = 340 - 80(2) = 340 - 160 = 180$ km

Logo, os automóveis se encontram 2 h após a partida, a 180 km da cidade de São José dos Campos (perto de Resende - RJ).

2.º modo

Como os dois automóveis apresentam velocidades constantes, os respectivos gráficos de posição *versus* tempo devem ser representados por retas; o carro de Paula sai da origem das posições (km 0) e percorre 90 km a cada hora, e o carro de Tiago sai do km 340 e retrocede 80 km a cada hora. Podemos representar as posições nas quais cada carro se encontra, construindo uma tabela, como mostrado a seguir:

$v_{Paula} = +90$ km/h (sentido crescente das posições)

$v_{Tiago} = -80$ km/h (sentido decrescente das posições)

Tempo	Posição $_{Paula}$	Posição $_{Tiago}$
0 h	km 0	km 340
1 h	km 90	km 260
2 h	km 180	km 180
3 h	km 270	km 100
4 h	km 360	km 20

Utilizando os dados dessa tabela, podemos representar graficamente a situação.

Gráfico posição *versus* tempo

O gráfico em questão mostra que Paula e Tiago se encontram na posição 180 km, após 2 h de viagem.

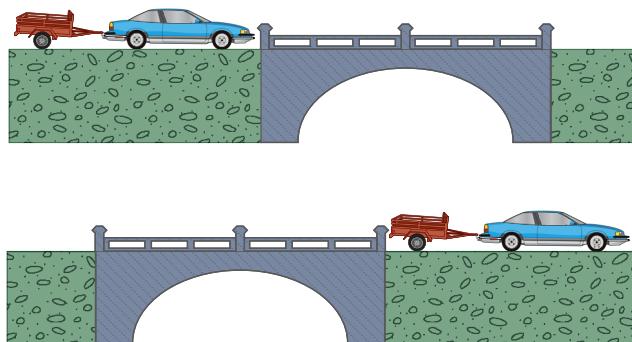
OBSERVAÇÃO

Não importa o modo de resolução (analítico, tabela ou gráfico), desde que a resolução seja coerente e que utilize os princípios físicos corretos.

02. Um automóvel puxa um reboque em uma estrada, se movendo com velocidade constante de 54 km/h. À sua frente, encontra-se uma ponte de 50 m de extensão. Quanto tempo gastará o conjunto (automóvel e reboque) para ultrapassar completamente a ponte, sabendo que os veículos apresentam 10 m de comprimento total?

Resolução:

Antes de resolvermos o exercício, convém transformarmos a unidade de velocidade, que se encontra em km/h, para m/s. Realizar tal transformação de unidades é simples, veja:

$$\frac{54 \text{ km}}{\text{h}} = \frac{54\ 000 \text{ m}}{3\ 600 \text{ s}} = \frac{15 \text{ m}}{\text{s}} = 15 \text{ m/s}$$

Ou seja, 54 km/h = 15 m/s. Para não efetuar essa divisão toda vez que encontrarmos uma transformação dessa natureza, podemos utilizar a seguinte relação:

$$\frac{36 \text{ km}}{\text{h}} = \frac{36\ 000 \text{ m}}{3\ 600 \text{ s}} = \frac{360 \text{ m}}{36 \text{ s}}$$

$\Rightarrow$ 10 m/s = 36 km/h

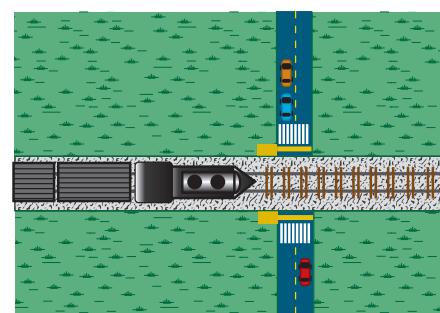
Isto é: 1 m/s = 3,6 km/h (use essa relação, juntamente com uma regra de três, para realizar transformações de km/h para m/s ou vice-versa).

Observe a figura seguinte, que representa os instantes em que o veículo inicia e termina a passagem sobre uma ponte.

Como podemos observar na figura anterior, a travessia inicia-se quando a parte frontal do veículo entra na ponte e termina quando o final do reboque sai da ponte, isto é, quando a distância total percorrida for igual a 50 m + 10 m = 60 m (comprimento da ponte mais o comprimento do veículo). Desse modo:

$d = vt \Rightarrow t = d/v = 60 \text{ m}/15 \text{ m/s}$

$\Rightarrow t = 4$ s

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (CEFET-PR–2006) Imagine um ônibus escolar parado no ponto de ônibus e um aluno sentado em uma de suas poltronas. Quando o ônibus entra em movimento, sua posição no espaço se modifica: ele se afasta do ponto de ônibus. Dada essa situação, podemos afirmar que a conclusão **ERRADA** é que

A) o aluno que está sentado na poltrona acompanha o ônibus, portanto também se afasta do ponto de ônibus.

B) podemos dizer que um corpo está em movimento em relação a um referencial quando a sua posição muda em relação a esse referencial.

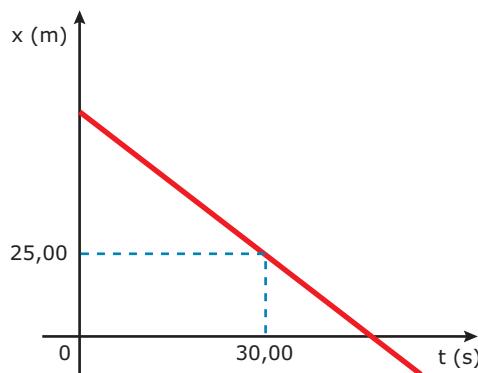
C) o aluno está parado em relação ao ônibus e em movimento em relação ao ponto de ônibus.

D) nesse exemplo, o referencial adotado é o ônibus.

E) para dizer se um corpo está parado ou em movimento, precisamos relacioná-lo a um ponto ou a um conjunto de pontos de referência.

02. (Mackenzie-SP) Um automóvel deslocou-se durante 1 h com velocidade constante de 60 km/h e, a seguir, por mais meia hora, com velocidade constante de 42 km/h. A velocidade escalar média do automóvel nesse intervalo de 1 h 30 min foi de

A) 40 m/s.
B) 30 m/s.
C) 25 m/s.
D) 20 m/s.
E) 15 m/s.

03. (FGV-SP–2007) Em uma passagem de nível, a cancela é fechada automaticamente quando o trem está a 100 m do início do cruzamento. O trem, de comprimento 200 m, move-se com velocidade constante de 36 km/h. Assim que o último vagão passa pelo final do cruzamento, a cancela se abre, liberando o tráfego de veículos.

Considerando que a rua tem largura de 20 m, o tempo que o trânsito fica contido desde o início do fechamento da cancela até o início de sua abertura, é, em s,

A) 32.
B) 36.
C) 44.
D) 54.
E) 60.

04. (FUVEST-SP) João está parado em um posto de gasolina quando vê o carro de seu amigo passando por um ponto P, na estrada, a 60 km/h. Pretendendo alcançá-lo, João parte com seu carro e passa pelo mesmo ponto P, depois de 4 minutos, já a 80 km/h. Considere que ambos dirigem com velocidades constantes. Medindo o tempo, a partir de sua passagem pelo ponto P, João deverá alcançar seu amigo, aproximadamente, em

A) 4 minutos.

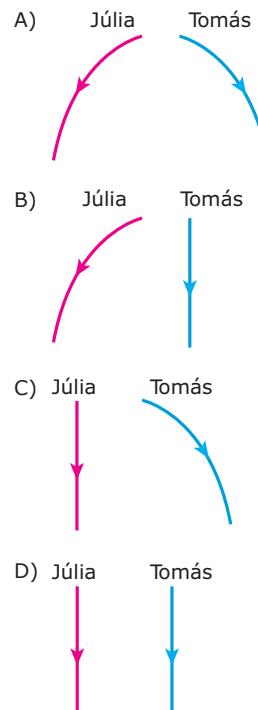
B) 10 minutos.

C) 12 minutos.

D) 15 minutos.

E) 20 minutos.

05. (Mackenzie-SP) Correndo com uma bicicleta, ao longo de um trecho retilíneo de uma ciclovia, uma criança mantém a velocidade constante de módulo igual a 2,50 m/s. O diagrama horário da posição para esse movimento está ilustrado na figura.

Segundo o referencial adotado, no instante t = 15,00 s, a posição x da criança é igual a

A) –37,50 m.

B) –12,50 m.

C) 12,50 m.

D) 37,50 m.

E) 62,50 m.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (UFMG) Júlia está andando de bicicleta, com velocidade constante, quando deixa cair uma moeda. Tomás está parado na rua e vê a moeda cair.

Considere desprezível a resistência do ar.

Assinale a alternativa em que **MELHOR** estão representadas as trajetórias da moeda, como observadas por Júlia e por Tomás.

02. (PUC Minas) Durante uma tempestade, uma pessoa viu um relâmpago e, após 3 segundos, escutou o barulho do trovão. Sendo a velocidade do som igual a 340,0 m/s, a que distância a pessoa estava do local onde caiu o relâmpago?

A) 113,0 m

B) 1 130 m

C) 1 020 m

D) 102 m

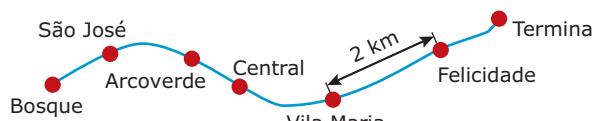
03. (FUVEST-SP–2010) Astrônomos observaram que a nossa galáxia, a Via Láctea, está a 2,5 x 10^6 anos-luz de Andrômeda, a galáxia mais próxima da nossa. Com base nessa informação, estudantes em uma sala de aula afirmaram o seguinte:

I. A distância entre a Via Láctea e Andrômeda é de 2,5 milhões de km.

II. A distância entre a Via Láctea e Andrômeda é maior que 2 x 10^{19} km.

III. A luz proveniente de Andrômeda leva 2,5 milhões de anos para chegar à Via Láctea.

Observação: 1 ano tem aproximadamente 3 x 10^7 s.

Está **CORRETO** apenas o que se afirma em

A) I.

B) II.

C) III.

D) I e III.

E) II e III.

04. (UFSCar-SP) Três amigos, Antônio, Bernardo e Carlos, saíram de suas casas para se encontrarem numa lanchonete. Antônio realizou metade do percurso com velocidade média de 4 km/h e a outra metade com velocidade média de 6 km/h. Bernardo percorreu o trajeto com velocidade média de 4 km/h durante a metade do tempo que levou para chegar à lanchonete e a outra metade do tempo fez com velocidade média de 6 km/h. Carlos fez todo o percurso com velocidade média de 5 km/h. Sabendo que os três saíram no mesmo instante de suas casas e percorreram exatamente as mesmas distâncias, pode-se concluir que

A) Bernardo chegou primeiro, Carlos, em segundo e Antônio, em terceiro.

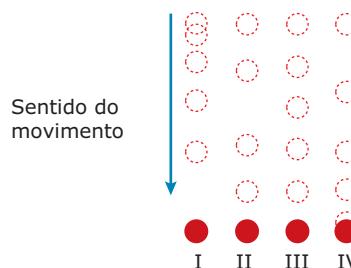
B) Carlos chegou primeiro, Antônio, em segundo e Bernardo, em terceiro.

C) Antônio chegou primeiro, Bernardo, em segundo e Carlos, em terceiro.

D) Bernardo e Carlos chegaram juntos e Antônio chegou em terceiro.

E) os três chegaram juntos à lanchonete.

05. (FUVEST-SP–2007) Um passageiro, viajando de metrô, fez o registro de tempo entre duas estações e obteve os valores indicados na tabela. Supondo que a velocidade média entre duas estações consecutivas seja sempre a mesma e que o trem pare o mesmo tempo em qualquer estação da linha, de 15 km de extensão, é possível estimar que um trem, desde a partida da Estação Bosque até a chegada à Estação Terminal, leva, aproximadamente,

	Chegada	Partida
Vila Maria	0:00 min	1:00 min
Felicidade	5:00 min	6:00 min

A) 20 min.

B) 25 min.

C) 30 min.

D) 35 min.

E) 40 min.

06. (FUVEST-SP–2006) Um automóvel e um ônibus trafegam em uma estrada plana, mantendo velocidades constantes em torno de 100 km/h e 75 km/h, respectivamente. Os dois veículos passam lado a lado em um posto de pedágio. Quarenta minutos (2/3 de hora) depois, nessa mesma estrada, o motorista do ônibus vê o automóvel ultrapassá-lo. Ele supõe, então, que o automóvel deve ter realizado, nesse período, uma parada com duração aproximada de

A) 4 minutos.

B) 7 minutos.

C) 10 minutos.

D) 15 minutos.

E) 25 minutos.

07. (CEFET-MG–2006) As figuras a seguir representam as posições sucessivas, em intervalos de tempo iguais e fixos, dos objetos I, II, III e IV em movimento.

O objeto que descreveu um movimento retilíneo uniforme foi

A) I.

B) II.

C) III.

D) IV.

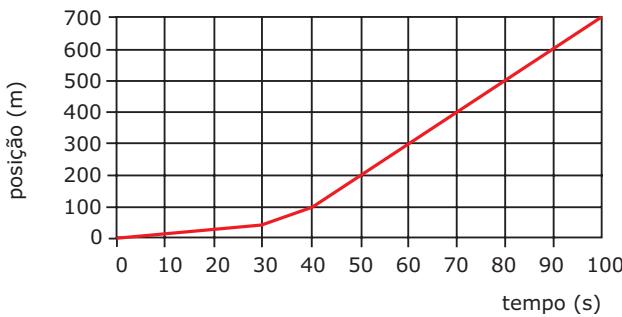
08. (UFTM-MG–2006) Na entrada do porto, todos os navios devem cruzar um estreito canal de 300 m de extensão. Como medida de segurança, essa travessia deve ser realizada com velocidade máxima de 6 m/s. Um navio de 120 m de comprimento, movendo-se com a máxima velocidade permitida, ao realizar a travessia completa desse canal, demorará um tempo, em s, de

A) 20.

B) 30.

C) 40.

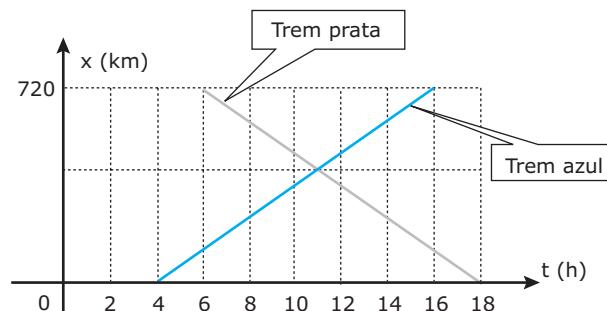
D) 60.

E) 70.

09. (UFRGS-RS) Um automóvel que trafega em uma autoestrada reta e horizontal, com velocidade constante, está sendo observado de um helicóptero. Relativamente ao solo, o helicóptero voa com velocidade constante de 100 km/h, na mesma direção e no mesmo sentido do movimento do automóvel. Para o observador situado no helicóptero, o automóvel avança a 20 km/h. Qual é, então, a velocidade do automóvel relativamente ao solo?

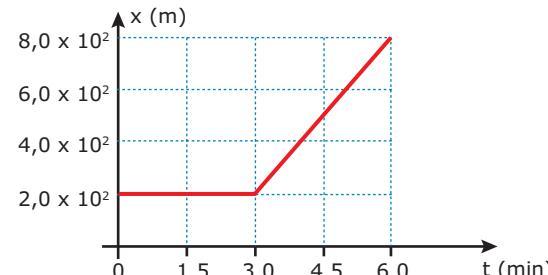
A) 120 km/h
B) 100 km/h
C) 80 km/h
D) 60 km/h
E) 20 km/h

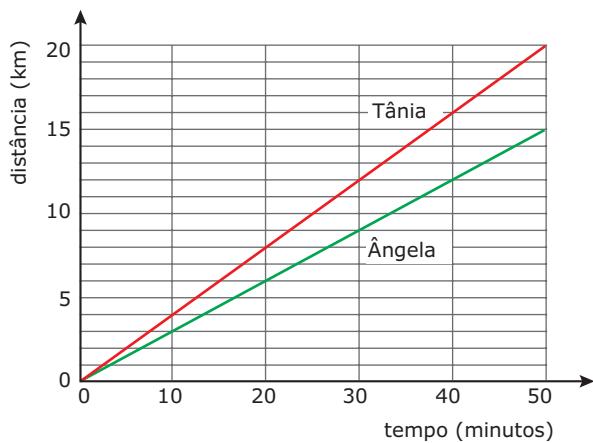
10. (FUVEST-SP–2009) Marta e Pedro combinaram encontrar-se em um certo ponto de uma autoestrada plana, para seguirem viagem juntos. Marta, ao passar pelo marco zero da estrada, constatou que, mantendo uma velocidade média de 80 km/h, chegaria na hora certa ao ponto de encontro combinado. No entanto, quando ela já estava no marco do quilômetro 10, ficou sabendo que Pedro tinha se atrasado e, só então, estava passando pelo marco zero, pretendendo continuar sua viagem a uma velocidade média de 100 km/h. Mantendo essas velocidades, seria previsível que os dois amigos se encontrassem próximos a um marco da estrada com indicação de

A) km 20 B) km 30 C) km 40 D) km 50 E) km 60

11. (UFMG) Este gráfico mostra como varia a posição em função do tempo para um carro que se desloca em linha reta. No tempo t = 60 s, a velocidade do carro é

A) 5,0 m/s.
B) 7,0 m/s.
C) 10 m/s.
D) 12 m/s.
E) 15 m/s.

12. (UFV-MG) O tempo necessário para um motorista, em um carro a 40 m/s, ultrapassar um trem de carga (no mesmo sentido do carro), de 0,18 km de comprimento, a 10 m/s, será, em segundos,

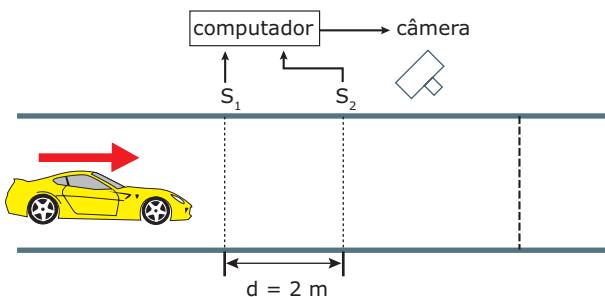
A) 5,4.
B) $6,0 \times 10^{-3}$.
C) 3,6.
D) $3,6 \times 10^{-3}$.
E) 6,0.

13. (UFCE) Dois trens partem, em horários diferentes, de duas cidades situadas nas extremidades de uma ferrovia, deslocando-se em sentidos contrários. O trem azul parte da cidade A com destino à cidade B, e o trem prata, da cidade B com destino à cidade A. O gráfico representa as posições dos dois trens em função do horário, tendo como origem a cidade A (x = 0).

Considerando a situação descrita e as informações do gráfico, assinale a alternativa **INCORRETA**.

A) Os dois trens se encontram às 11 horas, na posição 420 km.
B) O trem azul partiu às 4 horas da cidade A.
C) O trem azul move-se com maior rapidez que o trem prata, pois chegou primeiro ao seu destino.
D) A velocidade média do trem azul é de 60 km/h.

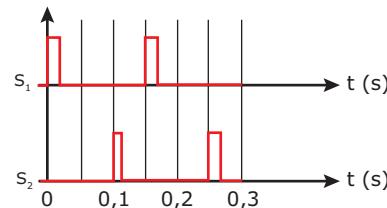
14. (Covest) O gráfico a seguir representa a posição de uma partícula em função do tempo. Qual a velocidade média da partícula, em m/s, entre os instantes t = 2,0 min e t = 6,0 min?

A) 1,7
B) 2,5
C) 3,3
D) 4,4

15. (UFMG–2010) Ângela e Tânia iniciam, juntas, um passeio de bicicleta em torno de uma lagoa. Neste gráfico, está registrada a distância que cada uma delas percorre, em função do tempo:

Após 30 minutos do início do percurso, Tânia avisa a Ângela, por telefone, que acaba de passar pela igreja.

Com base nessas informações, são feitas duas observações:

I. Ângela passa pela igreja 10 minutos após o telefonema de Tânia.

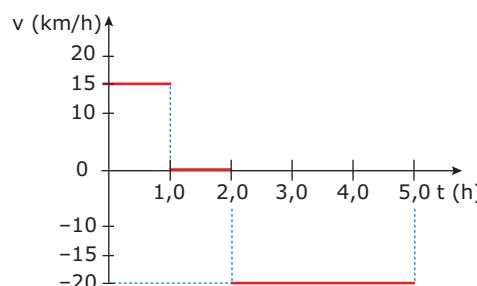
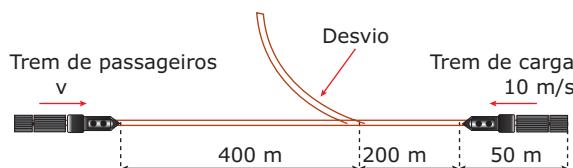
II. Quando Ângela passa pela igreja, Tânia está 4 km à sua frente.

Considerando-se a situação descrita, é **CORRETO** afirmar que

A) apenas a observação I está certa.

B) apenas a observação II está certa.

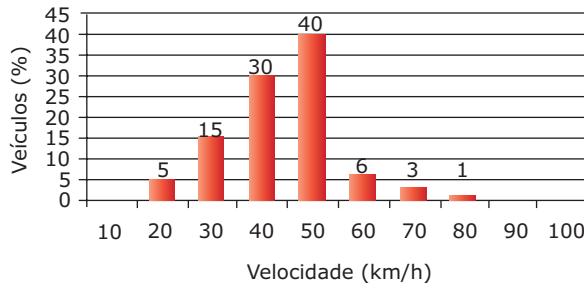
C) ambas as observações estão certas.

D) nenhuma das duas observações está certa.

16. (Unicamp-SP) A figura a seguir mostra o esquema simplificado de um dispositivo colocado em uma rua para controle de velocidade de automóveis (dispositivo popularmente chamado de radar).

Os sensores S_1 e S_2 e a câmera estão ligados a um computador. Os sensores enviam um sinal ao computador sempre que são pressionados pelas rodas de um veículo. Se a velocidade do veículo está acima da permitida, o computador envia um sinal para que a câmera fotografe sua placa traseira no momento em que esta estiver sobre a linha tracejada. Para certo veículo, os sinais dos sensores foram os seguintes:

A) **DETERMINE** a velocidade do veículo em km/h.

B) **CALCULE** a distância entre os eixos do veículo. (distância entre as rodas dianteira e traseira)

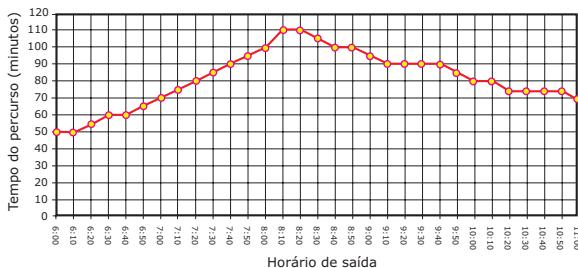
17. (UFPE) A figura mostra um gráfico da velocidade em função do tempo para um veículo que realiza um movimento composto de movimentos retilíneos uniformes. Sabendo-se que em t = 0 a posição do veículo é x_0 = +50 km, **CALCULE** a posição do veículo no instante t = 4,0 h, em km.

18. (UFRJ) Dois trens, um de carga e outro de passageiros, movem-se nos mesmos trilhos retilíneos, em sentidos opostos, um aproximando-se do outro, ambos com movimentos uniformes. O trem de carga, de 50 m de comprimento, tem uma velocidade de módulo igual a 10 m/s e o de passageiros, uma velocidade de módulo igual a v. O trem de carga deve entrar num desvio para que o de passageiros possa prosseguir viagem nos mesmos trilhos, como ilustra a figura a seguir. No instante focalizado, as distâncias das dianteiras dos trens ao desvio valem 200 m e 400 m, respectivamente.

CALCULE o valor máximo de v para que não haja colisão.

FÍSICA

SEÇÃO ENEM

01. (Enem) As cidades de Quito e Cingapura encontram-se próximas à Linha do Equador e em pontos diametralmente opostos no globo terrestre. Considerando o raio da Terra igual a 6 370 km, pode-se afirmar que um avião saindo de Quito, voando em média 800 km/h, descontando as paradas de escala, chega a Cingapura em aproximadamente

A) 16 horas.
B) 20 horas.
C) 25 horas.
D) 32 horas.
E) 36 horas.

02. (Enem) Um sistema de radar é programado para registrar automaticamente a velocidade de todos os veículos que trafegam por uma avenida, onde passam, em média, 300 veículos por hora, sendo 55 km/h a máxima velocidade permitida. Um levantamento estatístico dos registros do radar permitiu a elaboração da distribuição percentual de veículos de acordo com a sua velocidade aproximada.

A velocidade média dos veículos que trafegam nessa avenida é de

A) 35 km/h.
B) 44 km/h.
C) 55 km/h.
D) 76 km/h.
E) 85 km/h.

03. (Enem) O tempo que um ônibus gasta para ir do ponto inicial ao ponto final de uma linha varia, durante o dia, conforme as condições do trânsito, demorando mais nos horários de maior movimento. A empresa que opera essa linha forneceu, no gráfico a seguir, o tempo médio de duração da viagem conforme o horário de saída do ponto inicial, no período da manhã.

De acordo com as informações do gráfico, um passageiro que necessita chegar até as 10h30min ao ponto final dessa linha, deve tomar o ônibus no ponto inicial, no máximo, até as

A) 9h20min.
B) 9h30min.
C) 9h00min.
D) 8h30min.
E) 8h50min.

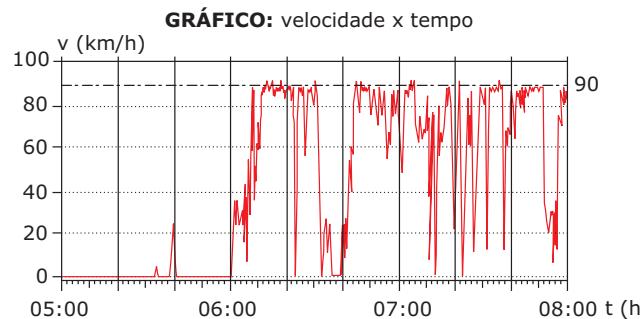
GABARITO

Fixação

01. D
02. E
03. A
04. C
05. E

Propostos

01. C
02. C
03. E
04. D
05. D
06. C
07. C
08. E
09. A
10. D
11. C
12. E
13. C
14. B
15. C
16. A) 72 km/h
    B) 3 m
17. 25 km
18. 16 m/s

Seção Enem

01. C
02. B
03. E

FÍSICA

MÓDULO 02 FRENTE A

Movimento Uniformemente Variado e Movimento Vertical

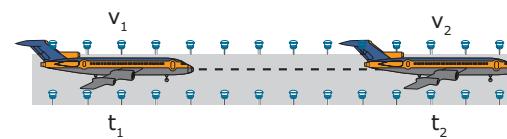
No módulo anterior, discutimos o conceito de velocidade escalar, isto é, discutimos o ritmo no qual a posição de um móvel varia (taxa de variação da posição em relação ao tempo). Esse conceito nos permitiu descrever as características do movimento uniforme. Contudo, raros são os movimentos nos quais o módulo da velocidade permanece constante. Ao andar de carro, bicicleta ou ônibus, percebemos isso claramente. O módulo da velocidade varia muito, ora aumentando de valor, ora diminuindo. O gráfico de velocidade *versus* tempo a seguir registra essas variações de velocidade em um ônibus de viagem. Esse registro é feito por um aparelho denominado tacógrafo, de uso obrigatório em ônibus e em caminhões. Observe que o valor da velocidade fica constante por curtíssimos intervalos de tempo.

GRÁFICO: velocidade x tempo

Registro de velocidade de um ônibus utilizando o tacógrafo.

No presente módulo, estudaremos a grandeza que mede a variação da velocidade em relação ao tempo, a **aceleração**. Inicialmente, estudaremos seu conceito, sua definição matemática e suas unidades; depois, passaremos aos movimentos que apresentam variação uniforme de velocidade (MUV) e finalizaremos o módulo com os movimentos de queda livre vertical.

O CONCEITO DE ACELERAÇÃO

Um avião a jato movendo-se retilineamente, com uma velocidade constante de 700 km/h em relação ao solo, não possui nenhuma aceleração. Um corpo possui aceleração apenas quando o seu vetor velocidade varia no tempo. Dessa forma, apesar da enorme rapidez com a qual o avião se desloca, este não está acelerado, ou seja, não possui aceleração, pois sua velocidade não varia em relação ao tempo, nem numericamente nem em direção (a trajetória é retilínea). Ao contrário, quando uma composição do metrô inicia um movimento retilíneo, partindo do repouso e atingindo uma velocidade padrão, como 60 km/h, o veículo experimenta uma aceleração de arrancada. Depois que a composição passa a se mover com velocidade constante, a sua aceleração torna-se nula. Naturalmente, uma aceleração voltará a existir quando a composição iniciar o procedimento de parada na próxima estação. Nesse caso, a aceleração é denominada de desaceleração, uma vez que ela é decorrente de uma redução do módulo da velocidade ao longo do tempo.

Os exemplos de acelerações citados anteriormente são relativos a variações no valor numérico (módulo) da velocidade. Nesse caso, a aceleração é denominada de **aceleração tangencial**.

Definição matemática da aceleração

Neste módulo, trataremos apenas da variação do valor (módulo) da velocidade em relação ao tempo. O conceito de **aceleração** tratado aqui está associado à variação no módulo da velocidade, que pode aumentar ou diminuir.

Imagine um avião comercial partindo do repouso e atingindo a velocidade necessária para decolagem, de 200 km/h em 40 segundos. Isso significa que, em média, a cada 1 segundo de movimento, a velocidade do avião aumenta de 5 km/h; ao final de 10 s, sua velocidade será de 50 km/h e, ao atingir o final da pista de decolagem, 40 s após o início do movimento, o avião terá a velocidade necessária para decolar, de 200 km/h. O valor da mudança de velocidade em relação ao tempo – **aceleração escalar média** – é de 5 km/h a cada segundo, ou seja, em média, a cada segundo que passa, o avião aumenta sua velocidade em 5 km/h. Matematicamente, podemos representar essa ideia por:

Aceleração escalar média (a_m): $a_m = \dfrac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$

No exemplo apresentado, o valor da aceleração seria de 5 km/h por segundo ou 5 $\frac{\text{km/h}}{\text{s}}$. O Sistema Internacional de Unidades (SI) não utiliza a unidade anterior, e sim o $\frac{\text{m/s}}{\text{s}} = \text{m/s}^2$ (lê-se metro por segundo ao quadrado).

Dizer que o valor da aceleração de um avião ao arrancar é de 5 m/s^2 significa que, a cada segundo que passa, a velocidade do avião aumenta em 5 m/s.

Quando o valor do intervalo de tempo Δt for muito pequeno (Δt se aproxima de zero), o cálculo do valor da aceleração escalar média nós dá o valor da **aceleração escalar instantânea**, definida por:

> Aceleração escalar instantânea (a):
>
> $a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, quando Δt tende a zero.

A relação matemática anterior mostra que se o valor da velocidade aumenta, isto é, $v_2 > v_1$, então a variação da velocidade é positiva e a aceleração também é positiva; caso contrário, se o valor da velocidade diminui, isto é, $v_2 < v_1$, então a variação da velocidade é negativa e a aceleração também é negativa. No movimento uniforme, no qual o valor da velocidade não se altera, a aceleração escalar é nula ($v_2 = v_1 \Rightarrow \Delta v = 0 \Rightarrow a = 0$). A ideia de que a aceleração é positiva em um movimento acelerado, e negativa em um movimento retardado, é correta apenas quando a velocidade é positiva. Quando o móvel apresenta uma velocidade negativa, essa regra é invertida, ou seja, a < 0 no movimento acelerado e a > 0 no movimento retardado. Em outras palavras, no movimento acelerado, aceleração e velocidade apresentam sinais idênticos, enquanto, no movimento retardado, os sinais são opostos. A seguir, apresentamos um quadro resumindo essas convenções de sinais.

Comportamento do módulo da velocidade	Sinal da velocidade	Sinal da aceleração
Crescente	+	+
	–	–
Decrescente	+	–
	–	+

MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO (MUV)

Uma classe especial de movimentos é aquela cujo valor da velocidade varia sempre no mesmo ritmo, isto é, apresenta variações iguais em intervalos de tempo iguais. Veja a tabela seguinte, que apresenta as variações das velocidades instantâneas de dois carros.

TABELA: Variação da velocidade de 2 veículos

Instante	Velocidade do carro I	Velocidade do carro II
0 s	15 m/s	15 m/s
1 s	17 m/s	17 m/s
2 s	18 m/s	19 m/s
3 s	22 m/s	21 m/s
4 s	25 m/s	23 m/s

O primeiro automóvel aumentou o módulo de sua velocidade, e, portanto, dizemos que o seu movimento é um movimento acelerado. O segundo automóvel também aumentou o valor de sua velocidade, logo esse também possui um movimento acelerado. Porém, o aumento da velocidade do segundo veículo ocorreu sempre no mesmo ritmo, ou seja, o valor de sua velocidade aumentou de forma regular. Seu movimento é, então, denominado movimento uniformemente variado (**MUV**). A cada segundo que passa, o valor da velocidade do carro II aumenta em 2 m/s. Logo, o segundo automóvel apresenta uma aceleração constante de 2 m/s^2. A constância da aceleração (que, no entanto, não pode ser nula) caracteriza o MUV.

Os movimentos uniformemente variados têm uma enorme importância histórica, uma vez que Galileu "inaugura" a Ciência Moderna com o estudo de questões relativas ao movimento, entre elas o estudo do movimento dos corpos sob a ação da gravidade. O tipo de movimento que ele encontra para o deslocamento dos corpos sob ação da gravidade é o MUV.

Como em um MUV o valor da aceleração é constante, podemos escrever que $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$.

Desenvolvendo a igualdade, teremos:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \Rightarrow v_2 - v_1 = a(t_2 - t_1) \Rightarrow v_2 = v_1 + a(t_2 - t_1)$$

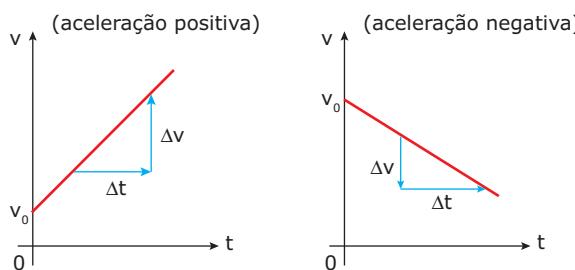
Assumindo que $t_1 = 0$, temos que $v_2 = v_1 + at_2$, ou simplesmente:

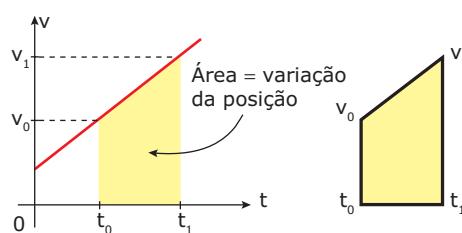
> $v = v_0 + at$ (função horária da velocidade)

Nessa função
v = velocidade final no instante t
v_0 = velocidade inicial
a = aceleração
t = instante final

Esse resultado pode ser corroborado facilmente pelos dados apresentados na tabela anterior, para o carro II. Nela, temos:

v_0 = 15 m/s (velocidade no instante inicial)

a = 2 m/s^2

Dessa maneira, a equação horária da velocidade para o carro II é $v = v_0 + at \Rightarrow v = 15 + 2t$ (v em m/s, a em m/s^2 e t em s).

Uma vez obtida a equação horária para a velocidade, podemos calcular o valor dessa em qualquer instante desejado, desde que o valor da aceleração permaneça constante. Substitua, mentalmente, o valor de $t = 3$ s na equação horária do carro II, e você obterá um valor igual a 21 m/s, como mostra a tabela.

Observe que a função horária da velocidade é uma função do 1.º grau. Podemos facilmente estabelecer uma analogia entre a função horária da velocidade e a equação geral da reta, como mostrado a seguir:

$$v = v_0 + at$$
$$\updownarrow \quad \updownarrow \quad \updownarrow\updownarrow$$
$$y = b + ax$$

OBSERVAÇÕES

1. O valor da inclinação da reta do gráfico v x t nos mostra o ritmo de mudança no valor da velocidade, isto é, a inclinação da reta no gráfico v x t nos fornece o valor da aceleração. Desse modo, a inclinação é numericamente igual ao valor da aceleração apresentada pelo móvel.

2. No módulo anterior, vimos que a área sob a reta do gráfico v x t representa a variação da posição (distância percorrida) do móvel em um determinado intervalo de tempo. O mesmo ocorre para o MUV.

Podemos determinar a área sob a reta do gráfico calculando a área do trapézio, cujos vértices apresentam valores numéricos iguais a v_0, v_1, t_0 e t_1. Ao calcular essa área, substituindo v_1 por $v_0 + a\Delta t$, encontramos a função:

$$\Delta s = v_0\Delta t + \frac{a(\Delta t)^2}{2}$$

Fazendo $t_0 = 0$ e $t_1 = t$, temos:

$$\Delta s = v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad \text{(função horária da posição)}$$

3. Um aluno de Galileu, Evangelista Torricelli, desenvolveu uma equação para o MUV que independe do tempo. Essa relação, denominada Equação de Torricelli, foi desenvolvida tendo como base as duas equações anteriormente apresentadas.

$$\left.\begin{array}{r} v = v_0 + at \\ \Delta s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{\begin{array}{l} v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s \\ \text{(Equação de Torricelli)} \end{array}}$$

4. Imagine um carro que se move com velocidade constante. Em um determinado momento, o motorista pisa no freio, reduzindo a velocidade sempre no mesmo ritmo e, assim que o carro para, engata rapidamente a marcha-à-ré e passa a mover-se para trás, aumentando o módulo da velocidade sempre no mesmo ritmo. Podemos sintetizar essas informações por meio de um gráfico, em que as mesmas informações estarão presentes. Veja a imagem a seguir.

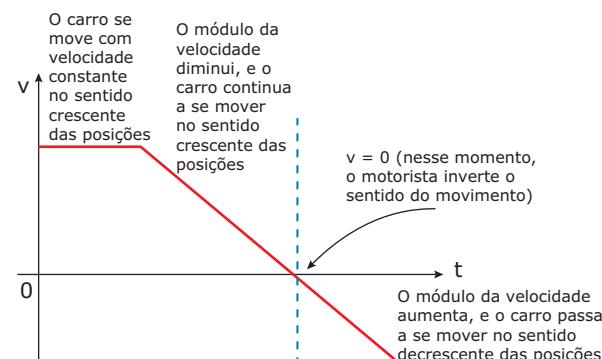
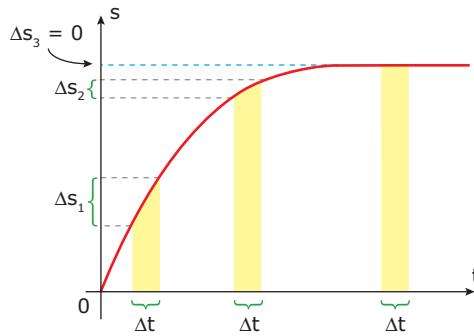



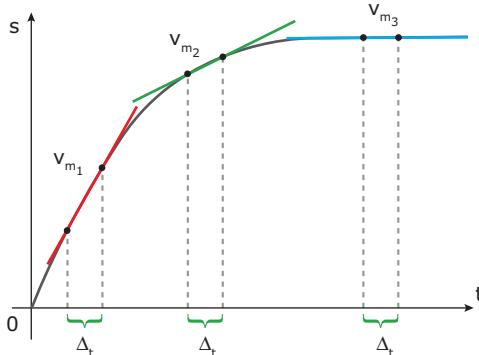
GRÁFICO POSIÇÃO *VERSUS* TEMPO

A função horária da posição, para o MUV, é uma função do segundo grau, uma vez que:

$$\Delta s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \text{ ou } s - s_0 = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

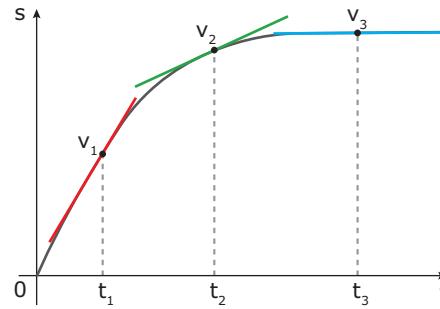
$$\Rightarrow s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

(equação do 2.º grau em função do tempo)

Dessa forma, a posição de um móvel, em MUV, é descrita por uma curva denominada parábola, em um gráfico de posição *versus* tempo. A seguir, apresentamos um gráfico da posição em função do tempo para um móvel em movimento uniformemente retardado, que passou pela posição $s = 0$ no instante $t = 0$. Também representamos alguns instantes após o móvel ter atingido o repouso. Naturalmente, nesse intervalo, a posição é constante, e o gráfico é uma reta paralela ao eixo do tempo.

Observe que marcamos três intervalos de tempo iguais em diferentes trechos do gráfico. Observe que, para um mesmo intervalo de tempo, o valor da variação da posição apresentada em cada trecho é diferente:

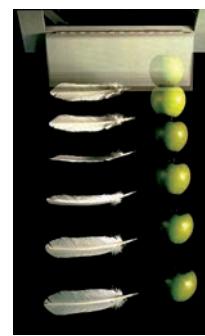
$$\Delta s_1 > \Delta s_2 > \Delta s_3 = 0$$

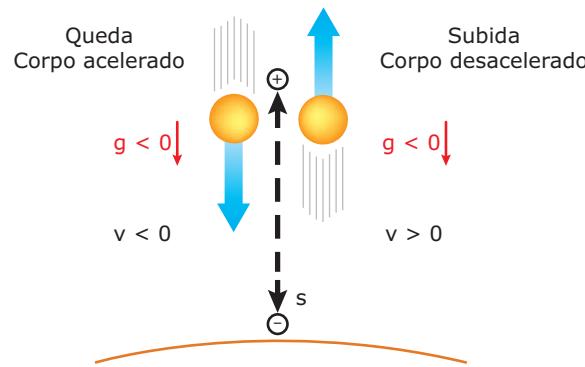
Isso nos mostra que a velocidade média do móvel nos trechos 1, 2 e 3 são diferentes:

$$v_{m_1} > v_{m_2} > v_{m_3} = 0$$

Logo, podemos inferir que o valor da velocidade do móvel está diminuindo. Outro modo de obter essa conclusão é por meio das retas secantes nos pontos da curva analisados. A figura a seguir representa essas retas secantes nos intervalos de tempo considerados. É fácil perceber que quanto menor a inclinação da reta secante, menor o valor da velocidade média no respectivo trecho.

PARA REFLETIR

Se trabalhássemos com um intervalo de tempo muito pequeno ($\Delta t \to 0$), em quê se transformaria a reta secante?

Ao reduzirmos muito o valor de Δt, este tende para o valor zero, isto é, estamos transformando um intervalo de tempo em um instante. Dessa maneira, a reta secante mostrada na figura anterior se transforma em uma reta tangente, e o que antes representava a velocidade média do móvel no trecho, agora representa a velocidade instantânea em certa posição. A figura seguinte mostra a transformação descrita.

Por esse motivo, no gráfico posição *versus* tempo, o valor da velocidade pode ser determinado por meio da inclinação da reta tangente à curva em um determinado instante, ($v_1 > v_2 > v_3$).

MOVIMENTOS VERTICAIS NA SUPERFÍCIE DA TERRA

Os movimentos na superfície da Terra foram estudados por muitos motivos, porém um se destacou: o objetivo militar. Com o desenvolvimento dos canhões, passou a ser uma necessidade conhecer o movimento dos projéteis lançados sobre a superfície da Terra, para, com isso, conseguir-se uma vantagem sobre o adversário, em caso de conflitos. A partir do estudo do movimento dos corpos sobre a superfície da Terra, pudemos compreender melhor a força gravitacional, que é uma força fundamental da natureza. A força gravitacional é uma força de atração mútua que se manifesta entre corpos que possuem massa. Sendo a Terra um corpo massivo, essa exerce uma força de atração sobre os objetos que estão sobre sua superfície.

Preocupar-nos-emos agora apenas com os movimentos verticais na superfície da Terra, e mesmo assim com uma classe muito especial: aquela na qual os efeitos da resistência do ar podem ser negligenciados, ou seja, estudaremos o movimento dos corpos que estão em **queda livre**. A imagem seguinte mostra uma pena e uma maçã liberadas em uma região com pouquíssima quantidade de ar (vácuo parcial). Quando os efeitos da resistência do ar são muito pequenos, objetos abandonados no mesmo instante, e de uma mesma altura, caem simultaneamente. Isso ocorre quando soltamos esferas de metal de diâmetros diferentes de pequenas alturas (por exemplo, 2 m). Apesar de haver resistência do ar, seus efeitos são muito pequenos para curtas distâncias. O mesmo não ocorre, por exemplo, para um paraquedista, para o qual os efeitos da resistência do ar são, no mínimo, vitais.

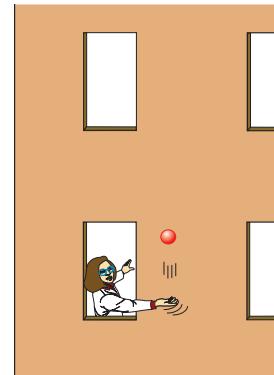
As sucessivas imagens da maçã e da pena, na fotografia anterior, foram realizadas em intervalos de tempo iguais. Ao analisar a imagem (realizando medidas, o que não faremos), é possível inferir que

1. o movimento de queda é uniformemente acelerado, e a aceleração, devido à gravidade (**g**), na superfície da Terra, é aproximadamente 9,8 m/s², muitas vezes arredondada para 10 m/s².

2. se, ao cair, o movimento é uniformemente acelerado, ao subir (sem resistência do ar), o movimento é uniformemente retardado, sendo o módulo da aceleração também igual a 9,8 m/s².

3. é muito comum adotarmos um eixo, com o sentido positivo voltado para cima, para definirmos as grandezas cinemáticas de um corpo, a fim de estudarmos os movimentos verticais. Isso implica que a velocidade de um corpo que cai apresenta sinal negativo (–v), bem como o valor da aceleração devido à gravidade (g = –9,8 m/s²), conforme ilustra a figura seguinte. Mas isso é uma convenção, e você pode alterá-la no momento que desejar.

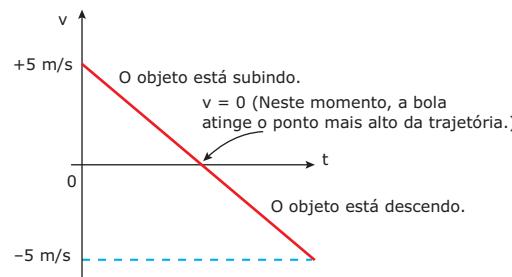
FUNÇÕES DO MOVIMENTO VERTICAL

O movimento vertical livre é um movimento uniformemente variado (acelerado ou retardado) e, portanto, as funções que o representam são as funções estudadas para o MUV. Alguns textos de Física fazem uma pequena adaptação, substituindo **a** por **g** e Δs por h:

$$v = v_0 + at \Rightarrow v = v_0 + gt$$

$$\Delta s = v_0 t + \frac{at^2}{2} \Rightarrow h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s \Rightarrow v^2 = v_0^2 + 2gh$$

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Da janela de seu apartamento, Elaine joga uma bola verticalmente para cima (v_0 = 5 m/s), como mostrado na figura. Despreze a resistência do ar e faça o que se pede.

A) Esboçar o gráfico de velocidade *versus* tempo para o movimento da bola, do instante em que a bola sai da mão de Elaine até o instante em que ela retorna à sua mão.

B) Esboçar o gráfico de posição *versus* tempo para o movimento da bola, do instante em que ela sai da mão de Elaine até o instante em que ela retorna à sua mão.

C) Esboçar o gráfico de aceleração *versus* tempo para o movimento da bola, do instante em que a bola sai da mão de Elaine até o instante em que ela retorna à sua mão.

D) Calcular a distância percorrida pela bola enquanto esta esteve no ar.

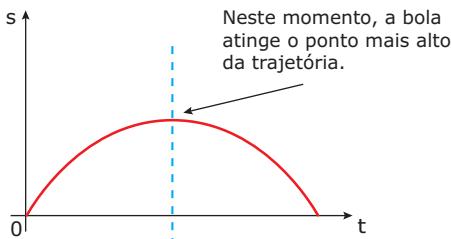
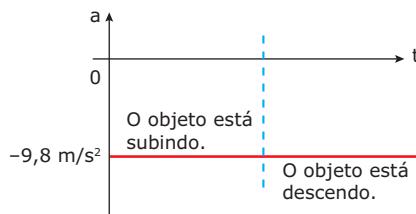
E) Qual o intervalo de tempo em que a bola fica no ar?

Resolução:

A) Como a bola é jogada para cima, sua velocidade inicial é positiva, considerando que o sentido positivo do eixo vertical é para cima. Logo, as grandezas direcionadas na vertical com sentido para baixo serão consideradas negativas. Sendo o movimento de subida e descida da bola um movimento uniformemente variado, temos que o gráfico de velocidade *versus* tempo desse movimento é representado por uma reta inclinada. O valor da velocidade inicial da bola é de 5,0 m/s², e, no ponto mais alto de sua trajetória, a velocidade é nula, momentaneamente. Após esse instante, a bola começa a cair e sua velocidade aumenta, em módulo, mas possui sinal negativo, pois a bola move-se no sentido oposto ao convencionado como positivo, até retornar à mão de Elaine com velocidade de mesmo módulo com que foi lançada (essa é uma informação importante e deve ser memorizada).

FÍSICA

Sendo assim, o gráfico de velocidade *versus* tempo para esse movimento é mostrado na figura a seguir:

B) Para estudarmos a variação da posição da bola em função do tempo, precisamos utilizar a função $s = s_0 + v_0t + \frac{at^2}{2}$.

Considerando que a bola esteja na origem de nosso sistema de coordenadas no instante inicial, temos que sua posição inicial é $s_0 = 0$.

Logo, sua equação de posição em função do tempo será representada por:

$s = 5t - 5t^2$ (equação horária da posição)

(Lembre-se de que $v_0 = 5$ m/s e $a = g \approx -10$ m/s²). Deve-se trabalhar com uma função do segundo grau. Consequentemente, a representação das posições da bola no gráfico posição *versus* tempo será uma parábola. Como o sentido positivo é para cima e como a bola foi lançada para cima, temos que as posições ocupadas pela bola estão na parte positiva do eixo das posições. Logo, o gráfico de posição em função do tempo, para o movimento da bola, possui a forma mostrada na figura a seguir.

C) O valor da aceleração não mudou em instante algum, pois permanece constante e igual a –9,8 m/s², durante todo o movimento. Tanto durante a subida quanto durante a descida, a aceleração, devido à gravidade, sempre aponta para baixo. Logo, o gráfico de aceleração *versus* tempo para esse movimento é uma reta paralela ao eixo do tempo, como representado a seguir:

D) Utilizando a relação $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$, durante o movimento de subida ($v_0 = 5$ m/s e $v_{final} = 0$ m/s), e atentando para os sinais a serem utilizados para v_0 e g, temos:

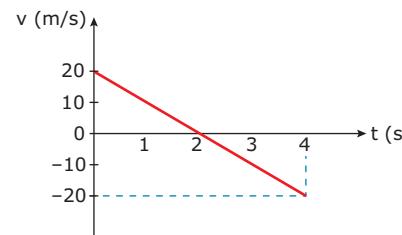
$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s \Rightarrow (0)^2 = (5)^2 + 2(-10)\Delta s$

$0 = 25 - 20\Delta s \Rightarrow \Delta s = 1,25$ m (subiu 1,25 m)

Se a bola subiu 1,25 m, ela deverá descer 1,25 m. Logo, a distância percorrida pela bola foi de 2,5 m.

E) Considerando novamente somente o intervalo de tempo de subida, teremos:

$v = v_0 + at \Rightarrow 0 = 5 - 10t \Rightarrow t = 0,5$ s

Logo, o intervalo de tempo total em que a bola fica no ar é de 1 s.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (PUC Rio–2007) Um corredor velocista corre a prova dos 100 m rasos em, aproximadamente, 10 s. Considerando-se que o corredor parte do repouso, tendo aceleração constante, e atinge sua velocidade máxima no final dos 100 m, a aceleração do corredor durante a prova, em m/s², é

A) 1,0.
B) 2,0.
C) 3,0.
D) 4,0.
E) 5,0.

02. (CEFET-MG) Um carro corre a uma velocidade de 20 m/s quando o motorista vê um obstáculo 50 m à sua frente. A desaceleração mínima constante que deve ser dada ao carro para que não haja choque, em m/s², é de

A) 4,0.
B) 2,0.
C) 1,0.
D) 0,5.

03. (UFSM) O gráfico a seguir representa a velocidade de um objeto lançado verticalmente para cima, desprezando-se a ação da atmosfera.

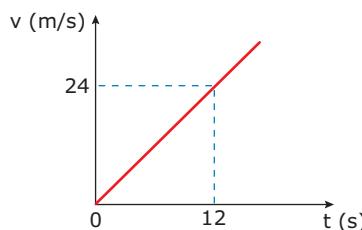
Assinale a afirmativa **INCORRETA**.

A) O objeto atinge, 2 segundos após o lançamento, o ponto mais alto da trajetória.
B) A altura máxima atingida pelo objeto é 20 metros.
C) O deslocamento do objeto, 4 segundos após o lançamento, é zero.
D) A aceleração do objeto permanece constante durante o tempo observado e é igual a 10 m/s².
E) A velocidade inicial do objeto é igual a 20 m/s.

04. (UFJF-MG) Um carro, realizando um movimento retilíneo uniformemente variado, tem o reservatório de óleo furado. Considerando que o intervalo de tempo em que as gotas caem do reservatório é sempre constante, qual das alternativas a seguir **MELHOR** representaria um trecho da configuração deixada pelas gotas (representadas pelo símbolo '●'), quando estas caem sobre o piso? Despreze a resistência do ar sobre as gotas.

05. (CEFET-CE) Observe o movimento da moto a seguir, supostamente tomada como partícula.

Tempo (s)	0	1	2	3	4	5
Velocidade (m/s)	0	2	4	6	8	10

DETERMINE

A) o instante em que sua velocidade será de 20 m/s.

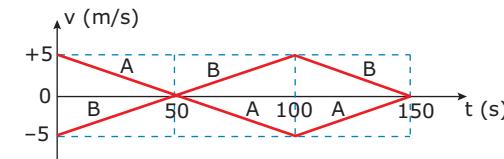
B) o deslocamento efetuado até esse instante.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

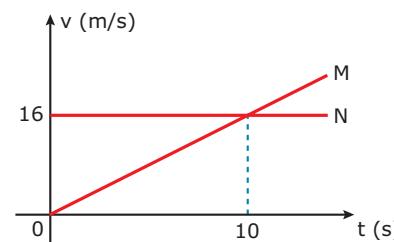
01. (UFSCar-SP) Em um piso horizontal, um menino dá um empurrão em seu caminhãozinho de plástico. Assim que o contato entre o caminhãozinho e a mão do menino é desfeito, observa-se que em um tempo de 6 s o brinquedo foi capaz de percorrer uma distância de 9 m até cessar o movimento. Se a resistência oferecida ao movimento do caminhãozinho se manteve constante, a velocidade inicial obtida após o empurrão, em m/s, foi de

A) 1,5.
B) 3,0.
C) 4,5.
D) 6,0.
E) 9,0.

02. (UFMG) Este gráfico, velocidade *versus* tempo, representa o movimento de um automóvel ao longo de uma estrada reta.

A distância percorrida pelo automóvel nos primeiros 12 s é

A) 24 m.
B) 2,0 m.
C) 288 m.
D) 144 m.

03. (FUVEST-SP) Dois trens, A e B, fazem manobra em uma estação ferroviária, deslocando-se paralelamente sobre trilhos retilíneos.

No instante t = 0 s, eles estão lado a lado.

O gráfico representa as velocidades dos dois trens a partir do instante t = 0 s até t = 150 s, quando termina a manobra.

A distância entre os dois trens no final da manobra é

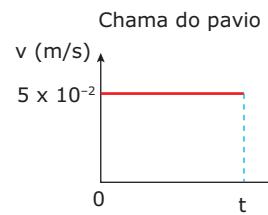
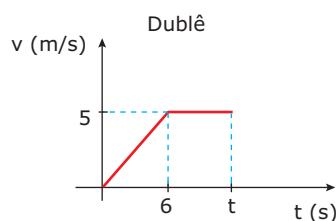
A) 0 m.
B) 50 m.
C) 100 m.
D) 250 m.
E) 500 m.

04. (Fatec-SP) Dois móveis, M e N, partem de um mesmo ponto e percorrem a mesma trajetória. Suas velocidades variam com o tempo, como mostra o gráfico a seguir.

Analise as seguintes afirmações a respeito desses móveis:

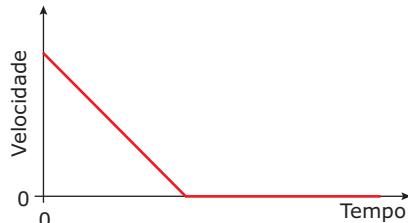
I. Os dois descrevem movimento uniforme.

II. Os dois se encontram no instante t = 10 s.

III. No instante do encontro, a velocidade de M será 32 m/s.

Deve-se afirmar que apenas

A) I é correta.
B) II é correta.
C) III é correta.
D) I e II são corretas.
E) II e III são corretas.

05. (PUC Rio) Um atleta corre a uma certa velocidade constante em linha reta e ultrapassa um carro que está sendo acelerado ($a = 2,0$ m/s^2) do repouso na mesma direção e sentido. O instante de tempo t = 0 é o tempo inicial de aceleração do carro e também o instante de tempo em que o atleta passa pelo carro. O atleta consegue se manter à frente do carro por 3,0 s. Qual é a velocidade do atleta?

A) 1,0 m/s
B) 3,0 m/s
C) 7,0 m/s
D) 9,0 m/s
E) 11,0 m/s

06. (UFSCar-SP–2006) Em um filme, para explodir a parede da cadeia, a fim de que seus comparsas pudessem escapar, o "bandido" ateia fogo a um pavio de 0,6 m de comprimento, que tem sua outra extremidade presa a um barril contendo pólvora. Enquanto o pavio queima, o "bandido" se põe a correr em direção oposta e, no momento em que salta sobre uma rocha, o barril explode.

Chama do pavio

v (m/s)

5×10^{-2}

0

t

t (s)

Ao planejar essa cena, o técnico utilizou os dados gráficos obtidos cuidadosamente da análise das velocidades do dublê (que representa o bandido) e da chama no pavio, o que permitiu determinar que a rocha deveria estar a uma distância, relativamente ao ponto em que o pavio foi aceso, em metros, de

A) 30. B) 40. C) 45. D) 60.

07. (UNESP-SP) O gráfico adiante mostra como varia a velocidade de um móvel, em função do tempo, durante parte de seu movimento.

O movimento representado pelo gráfico pode ser o de uma

A) esfera que desce por um plano inclinado e continua rolando por um plano horizontal.

B) criança deslizando num escorregador de um parque infantil.

C) fruta que cai de uma árvore.

D) composição de metrô, que se aproxima de uma estação e para.

E) bala no interior de um cano de arma, logo após o disparo.

08. (PUC Minas) Um astronauta lança, na Lua, um objeto verticalmente para cima, com velocidade inicial de 8,0 m/s. O tempo de subida até alcançar a altura máxima foi de 5,0 s. Se o lançamento do objeto fosse feito na superfície da Terra, desprezando a resistência do ar, com a mesma velocidade inicial com que foi lançado na Lua, poderíamos fazer as seguintes afirmações, **EXCETO**

A) A altura máxima alcançada na Terra seria menor do que a que foi alcançada na Lua.

B) O tempo de subida seria o mesmo nas duas situações.

C) O módulo da aceleração da gravidade da Lua é menor do que na Terra.

D) Na altura máxima, tanto na Lua quanto na Terra, a velocidade do objeto é nula.

09. (Mackenzie-SP) Um corpo em queda livre, a partir do repouso, gasta um certo tempo para percorrer uma distância h. Se um outro corpo, nas mesmas condições, gastasse o triplo desse tempo, a distância percorrida seria

A) h/9.

B) h/3.

C) 3h.

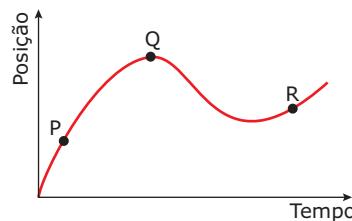
D) 9h.

10. (UFMG) Um balão está subindo com uma velocidade constante de 5 m/s. Em dado instante, solta-se um saco de areia que se encontrava preso à lateral externa desse balão. Para um observador na Terra, a partir desse instante e até o saco de areia chegar ao chão, o movimento dele, desprezando-se a resistência do ar, será

A) apenas uniforme, com velocidade igual a 5 m/s.

B) apenas uniformemente acelerado, com uma aceleração menor do que a da gravidade.

C) inicialmente uniforme e, depois, uniformemente acelerado.

D) uniformemente retardado e, depois, uniformemente acelerado.

11. (PUC Minas) Uma bola é lançada verticalmente para cima. No ponto mais alto de sua trajetória, é **CORRETO** afirmar que sua velocidade e sua aceleração são, respectivamente,

A) zero e diferente de zero.

B) zero e zero.

C) diferente de zero e zero.

D) diferente de zero e diferente de zero.

12. (UNESP-SP) Para deslocar tijolos, é comum vermos em obras de construção civil um operário no solo, lançando tijolos para outro que se encontra postado no piso superior. Considerando o lançamento vertical, a resistência do ar nula, a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 e a distância entre a mão do lançador e a do receptor 3,2 m, a velocidade com que cada tijolo deve ser lançado para que chegue às mãos do receptor com velocidade nula deve ser de

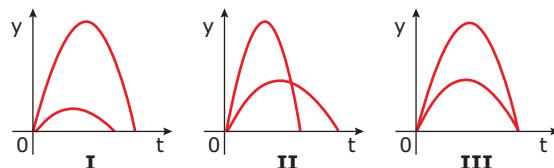
A) 5,2 m/s.

B) 6,0 m/s.

C) 7,2 m/s.

D) 8,0 m/s.

E) 9,0 m/s.

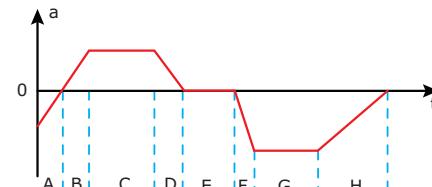
13. (UFMG) Um carro está andando ao longo de uma estrada reta e plana. Sua posição em função do tempo está representada neste gráfico.

Sejam v_P, v_Q e v_R os módulos das velocidades do carro, respectivamente, nos pontos P, Q e R, indicados nesse gráfico.

Com base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que

A) $v_Q < v_P < v_R$.

B) $v_P < v_R < v_Q$.

C) $v_Q < v_R < v_P$.

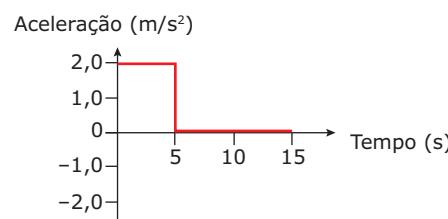
D) $v_P < v_Q < v_R$.

14. (Cesgranrio) Qual (ou quais) das figuras a seguir pode(m) representar os gráficos das alturas (y) atingidas com o tempo (t) por duas pedras lançadas verticalmente para cima, desprezada a resistência do ar? (Suponha que todas as curvas apresentadas sejam arcos de parábola).

A) I, somente.

B) I e II, somente.

C) I e III, somente.

D) II e III, somente.

E) I, II e III.

15. (PUCPR–2010) A figura fornece a aceleração em função do tempo, a(t), de um pequeno cachorro chihuahua, enquanto ele persegue um pastor-alemão ao longo de uma linha reta.

Marque a alternativa **CORRETA**.

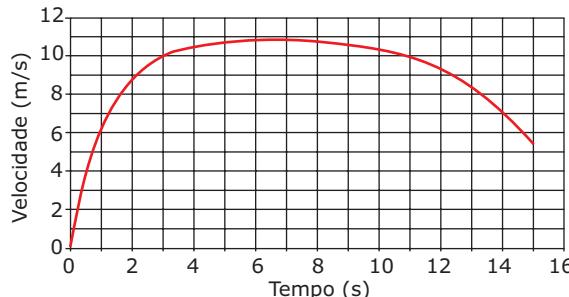
A) No intervalo de tempo E, o chihuahua move-se com velocidade constante.

B) Nos intervalos de tempo C, E e G, o chihuahua move-se com velocidade constante.

C) O chihuahua está parado no intervalo de tempo E.

D) Nos intervalos de tempo B e D, a velocidade e o deslocamento do chihuahua são necessariamente positivos.

E) Entre os intervalos A e B, o chihuahua inverte o sentido em que está correndo.

16. (UFMG) Este gráfico de aceleração em função do tempo refere-se ao movimento de um corpo, cuja massa é de 10 kg, que parte do repouso e desloca-se em linha reta.

A) **CONSTRUA** o gráfico velocidade em função do tempo para esse movimento.

B) **DETERMINE** a distância percorrida pelo corpo, de t = 0 até t = 15 s.

17. (UFMG) Um carro está parado no sinal fechado. Quando o sinal abre, o carro parte com aceleração constante de 2,0 m/s^2. Nesse mesmo instante, um ônibus, que se move com velocidade constante de 10 m/s, passa pelo carro. Os dois veículos continuam a se mover dessa mesma maneira.

A) Em um mesmo diagrama, **REPRESENTE** as velocidades do carro e do ônibus em função do tempo nos primeiros 12 s após a abertura do sinal, identificando-as.

Considerando a situação descrita, **CALCULE**

B) o tempo decorrido entre o instante em que o ônibus passa pelo carro e o instante em que o carro alcança o ônibus.

C) a distância percorrida pelo carro, desde o sinal até o ponto em que ele alcança o ônibus.

SEÇÃO ENEM

Em uma prova de 100 m rasos, o desempenho típico de um corredor padrão é representado pelo gráfico a seguir:

01. Baseado no gráfico, em que intervalo de tempo a velocidade do corredor é aproximadamente constante?

A) Entre 0 e 1 segundo.
B) Entre 1 e 5 segundos.
C) Entre 5 e 8 segundos.
D) Entre 8 e 11 segundos.
E) Entre 12 e 15 segundos.

02. Em que intervalo de tempo o corredor apresenta aceleração máxima?

A) Entre 0 e 1 segundo.
B) Entre 1 e 5 segundos.
C) Entre 5 e 8 segundos.
D) Entre 8 e 11 segundos.
E) Entre 9 e 15 segundos.

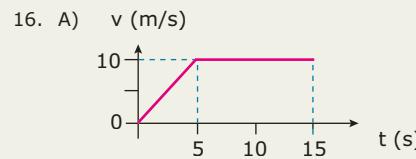
03. (Enem–2009 / Anulada)

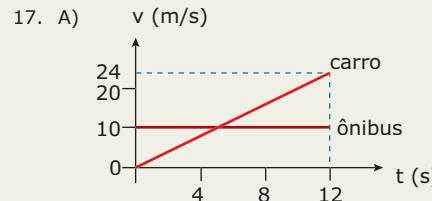
O Super-homem e as leis do movimento

Uma das razões para pensar sobre física dos super-heróis é, acima de tudo, uma forma divertida de explorar muitos fenômenos físicos interessantes, desde fenômenos corriqueiros até eventos considerados fantásticos. A figura seguinte mostra o Super-homem lançando-se no espaço para chegar ao topo de um prédio de altura H. Seria possível admitir que com seus superpoderes ele estaria voando com propulsão própria, mas considere que ele tenha dado um forte salto. Neste caso, sua velocidade final no ponto mais alto do salto deve ser zero, caso contrário, ele continuaria subindo. Sendo g a aceleração da gravidade, a relação entre a velocidade inicial do Super-homem e a altura atingida é dada por: $v^2 = 2gH$.

KAKALIOS, J. *The Physics of Superheroes*. USA: Gothan Books, 2005.

A altura que o Super-homem alcança em seu salto depende do quadrado de sua velocidade inicial porque

A) a altura do seu pulo é proporcional à sua velocidade média multiplicada pelo tempo que ele permanece no ar ao quadrado.
B) o tempo que ele permanece no ar é diretamente proporcional à aceleração da gravidade e essa é diretamente proporcional à velocidade.
C) o tempo que ele permanece no ar é inversamente proporcional à aceleração da gravidade e essa é inversamente proporcional à velocidade média.
D) a aceleração do movimento deve ser elevada ao quadrado, pois existem duas acelerações envolvidas: a aceleração da gravidade e a aceleração do salto.
E) a altura do seu pulo é proporcional à sua velocidade média multiplicada pelo tempo que ele permanece no ar, e esse tempo também depende da sua velocidade inicial.

GABARITO

Fixação

01. B
02. A
03. D
04. E
05. A) 10 s
    B) 100 m

Propostos

01. B	05. B	09. D	13. C
02. D	06. C	10. D	14. A
03. D	07. D	11. A	15. A
04. C	08. B	12. D	

16. A)

B) 125 m

17. A)

v (m/s)
24
20
10
0
carro
ônibus
4 8 12
t (s)

B) t = 10 s
C) d = 100 m

Seção Enem

01. C
02. A
03. E

FÍSICA

MÓDULO 01 FRENTE B

Termometria e dilatometria

Dependendo da temperatura e da pressão, uma substância pode existir na forma sólida, líquida ou gasosa. Em baixas temperaturas, os átomos de um sólido apresentam agitação moderada. Em temperaturas mais elevadas, os átomos oscilam mais rapidamente e tendem a se afastar uns dos outros. O resultado é que os corpos dilatam-se quando aquecidos. É por isso que, por exemplo, os cabos da linha de transmissão mostrados na figura 1, aquecidos pela passagem de corrente elétrica, se alongam significativamente (no verão, esse efeito é ampliado). Outro exemplo relacionado à dilatação térmica é o termômetro de coluna de líquido. Aquecido por uma fonte de calor, o líquido do termômetro dilata-se, e a nova posição da coluna registra a temperatura da fonte. Quase todas as substâncias dilatam-se com o aquecimento, sendo a água uma exceção. Entre 0 ºC e 4 ºC, ela se contrai quando aquecida e se expande quando resfriada.

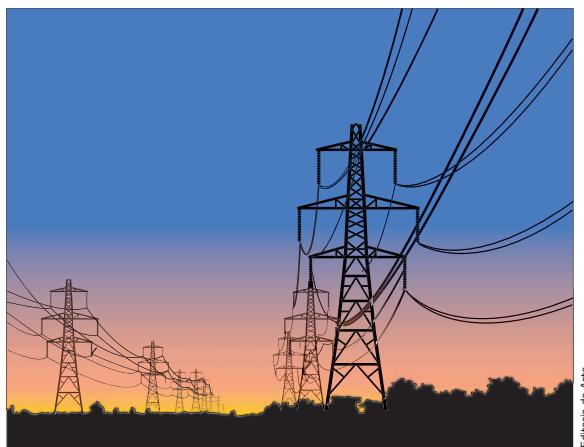



Figura 1: Os cabos de uma linha de transmissão de alta potência se encurvam, entre outros fatores, devido à dilatação térmica.

A temperatura e a dilatação térmica são os temas abordados neste módulo. Na primeira parte, vamos discutir o conceito físico da temperatura e ver como ela pode ser medida. Na sequência, estudaremos a dilatação térmica dos sólidos e dos líquidos. A dilatação irregular da água exerce um papel de destaque na manutenção da vida marinha em regiões mais frias, e parte deste módulo será dedicada ao estudo dessa dilatação anômala. Uma leitura complementar sobre a estrutura molecular e as características mecânicas dos sólidos, líquidos e gases finalizará a teoria deste módulo.

TEMPERATURA

A temperatura de um corpo indica o quão quente ele se acha em relação a um corpo de referência. Por exemplo, de nossa experiência diária, sabemos que a água fervente em uma panela está mais quente que a água que sai de uma torneira de jardim. Por isso, a água fervente apresenta uma temperatura maior que a água da torneira.

Uma unidade de temperatura muito utilizada em nosso país é o grau Celsius (ºC). Convencionou-se que o valor de temperatura da água fervente e a temperatura da água em fusão, ambas sob pressão de 1 atm, valem 100 ºC e 0 ºC, respectivamente. Temperaturas ambientes típicas são próximas de 20 ºC, e a temperatura interna do corpo humano é próxima de 38 ºC. Alguns corpos são tão frios que apresentam temperaturas muitos graus abaixo de 0 ºC. Por exemplo, o nitrogênio em liquefação, sob a pressão de 1 atm, apresenta a temperatura de −196 ºC. Os corpos também podem apresentar temperaturas muito elevadas, como aquelas que ocorrem nas estrelas.

A temperatura é uma grandeza escalar. Basta dizer que um corpo está a 45 ºC, por exemplo, para você ter uma noção do quão quente ele está. No caso de uma grandeza vetorial, como velocidade e força, você precisa especificar, além do módulo, a direção e o sentido da grandeza para ela ficar bem definida.

As grandezas físicas associadas à matéria dividem-se em duas categorias: as intensivas e as extensivas. O valor de uma grandeza intensiva não se altera pelo fato de a matéria ser dividida em duas ou mais partes. A temperatura é uma grandeza assim. Considere, por exemplo, uma jarra com 1 litro de água a 20 ºC. Se essa água for repartida em vários copos, a água em cada um continuará a 20 ºC. Ao contrário, uma grandeza extensiva tem o seu valor alterado pelo fato de a matéria ser dividida. No exemplo dado, a massa de água em cada copo é uma fração da massa da água na jarra. Assim, a massa é uma grandeza extensiva.

O caráter intensivo da temperatura pode ser útil em sua medição. Por exemplo, imagine uma pequena caixa com 100 abelhas. Como podemos medir a temperatura de apenas uma? Se todas as abelhas acham-se à mesma temperatura (pergunte ao professor de Biologia se essa consideração é pertinente), então a temperatura do grupo é a temperatura individual de uma abelha. Assim, se inserirmos um termômetro por um orifício da caixa, de modo que o instrumento fique bem no meio dos insetos, o valor registrado representará a temperatura de uma abelha.

VISÃO MICROSCÓPICA DA TEMPERATURA

O conceito de temperatura descrito até aqui corresponde a uma visão macroscópica. A temperatura também pode ser explicada do ponto de vista microscópico. A matéria é constituída por átomos e moléculas em constante movimento translacional. Nos sólidos e líquidos, esse movimento corresponde a diminutas oscilações das moléculas em torno de uma posição de equilíbrio. Nos gases, as moléculas percorrem distâncias maiores. A temperatura é uma medida da energia cinética média de translação das moléculas ou dos átomos de um corpo. Além do movimento translacional, moléculas formadas por dois ou mais átomos também podem rodar e vibrar. Contudo, a energia cinética rotacional e a vibracional das moléculas não interferem diretamente na temperatura de um corpo.

Não existe temperatura onde não há matéria. Não faz nenhum sentido perguntar qual é a temperatura do vácuo porque não existem átomos ou moléculas ali. Ao contrário, uma xícara de café quente contém moléculas e apresenta uma temperatura alta. Um *iceberg* possui moléculas menos agitadas, por isso a sua temperatura é baixa. Entretanto, como a massa do *iceberg* é muito grande, a energia cinética total de suas moléculas é maior que a energia cinética total das moléculas na xícara de café quente. Não há nenhuma inconsistência nesse fato, pois a temperatura é uma medida da energia cinética média das moléculas, e não da energia cinética total.

O fato de a temperatura ser uma medida da energia cinética média, e não da energia total, está em conformidade com o caráter intensivo da temperatura. Tomemos novamente o exemplo da jarra de água a 20 ºC, discutido na seção anterior. As moléculas de água apresentam uma energia cinética translacional média correspondente à temperatura de 20 ºC. As moléculas de água no fundo, no meio ou na parte de cima da jarra apresentam exatamente o mesmo valor médio de energia. A divisão dessa água em vários copos não modifica essa energia cinética média, e a temperatura da água é a mesma em cada copo.

MEDINDO UMA TEMPERATURA

A temperatura de um corpo pode ser determinada por meio de instrumentos chamados termômetros. Um termômetro pode ser graduado em diferentes escalas. As mais importantes são as escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin. Existem vários tipos de termômetros e, em todos eles, o registro de temperatura é obtido através da medição de uma grandeza física que é função da temperatura. Essa grandeza é chamada de propriedade termométrica. Medindo-se o seu valor, e conhecendo a relação matemática dela com a temperatura, esta pode ser determinada facilmente.

O termômetro mais simples utiliza o comprimento de uma coluna de líquido como propriedade termométrica. A figura 2 mostra um termômetro clínico de coluna de mercúrio. Esse instrumento é constituído por um tubo de diâmetro interno muito pequeno (tubo capilar). O tubo é fechado na extremidade superior, enquanto na parte inferior existe um pequeno reservatório metálico, chamado de bulbo, onde o mercúrio é armazenado. Quando o bulbo do termômetro é posto em contato com o corpo de um paciente, o mercúrio se dilata devido ao aquecimento. A altura da coluna de mercúrio estabiliza-se quando ocorre o equilíbrio térmico entre o bulbo, o mercúrio e o paciente. Nesse momento, todos esses corpos apresentam a mesma temperatura. Assim, a temperatura do paciente pode ser obtida pela leitura direta da altura da coluna de mercúrio.

Figura 2: Termômetro clínico de coluna de mercúrio.

O que um termômetro realmente indica é a sua própria temperatura. Por isso, quando usamos um termômetro para medir a temperatura de um corpo, é essencial que a leitura seja feita apenas após o estabelecimento do equilíbrio térmico entre o termômetro e o corpo. Quando dois corpos a temperaturas diferentes são postos em contato, ocorre um fluxo de calor entre eles. Depois de certo tempo, os corpos atingem uma temperatura comum, situada entre as temperaturas iniciais dos corpos. Em geral, a massa do corpo, cuja temperatura é medida, é muito maior que a massa do termômetro. Por isso, a temperatura de equilíbrio é muito próxima à temperatura inicial do corpo. Em outras palavras, a temperatura do termômetro se aproxima da temperatura do corpo, enquanto esta quase não varia. É exatamente isso que acontece quando um termômetro clínico é colocado em um doente com febre, digamos, de 40 ºC. Após poucos minutos, a redução na temperatura da pessoa é desprezível, enquanto a temperatura do termômetro eleva-se e estabiliza-se em um valor muito próximo a 40 ºC.

PARA REFLETIR

Se não há temperatura no vácuo, por que um termômetro registra um valor de temperatura ao ser colocado no espaço entre a Terra e o Sol?

ESCALA CELSIUS

O funcionamento de qualquer termômetro é baseado em alguma propriedade termométrica, de modo que existe uma relação biunívoca entre essa propriedade e a temperatura medida. Como já dito, a temperatura pode ser expressa em várias escalas termométricas, sendo as escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin as mais importantes.

A escala Celsius é usada como padrão para se medir a temperatura em quase todos os países do mundo. Proposta no século XVIII pelo sueco Anders Celsius, essa escala é baseada na convenção de que, sob a pressão de 1 atm, as temperaturas de fusão do gelo e de ebulição da água são iguais a 0 ºC e 100 ºC, respectivamente. A figura 3 ilustra as marcações desses valores em um termômetro de coluna de líquido.

Nesse termômetro, o espaço entre as marcas de 0 ºC e 100 ºC deve ser dividido em 100 partes iguais. O intervalo entre duas marcações consecutivas valerá 1 ºC, de forma que o termômetro poderá ser usado para medir temperaturas entre 0 ºC e 100 ºC, como a temperatura do ambiente ou a temperatura de uma pessoa. Se os intervalos de 1 ºC forem estendidos abaixo e acima das marcações de 0 ºC e 100 ºC, o termômetro poderá registrar algumas temperaturas negativas, como a temperatura do interior de uma geladeira, e também temperaturas maiores que 100 ºC, como a do óleo quente.

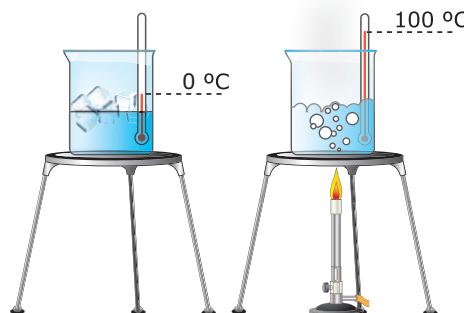



Figura 3: Calibração de um termômetro de coluna de líquido.

ESCALA FAHRENHEIT

A escala Fahrenheit foi proposta pelo cientista alemão Daniel Fahrenheit alguns anos antes de a escala Celsius ter sido criada. Muito popular nos Estados Unidos, a temperatura Fahrenheit é simbolizada por ºF. O valor 32 ºF corresponde à temperatura de fusão do gelo, e o valor 212 ºF, à temperatura de ebulição da água, a 1 atm. Outras correspondências entre as temperaturas Celsius e Fahrenheit podem ser observadas no termômetro de dupla escala mostrado na figura 4. Por exemplo, a temperatura registrada no termômetro, na escala Fahrenheit, é 80 graus, enquanto o valor correspondente na escala Celsius é um pouco maior que 25 graus. Usando a figura, você também pode verificar que uma variação de 1 ºC na escala Celsius corresponde a uma variação de 1,8 ºF na escala Fahrenheit.

Para obter essa relação, basta você dividir 180 °F por 100 °C, que são as diferenças entre as temperaturas de fusão e de ebulição da água nas escalas Fahrenheit (212 °F – 32 °F) e Celsius (100 °C – 0 °C).

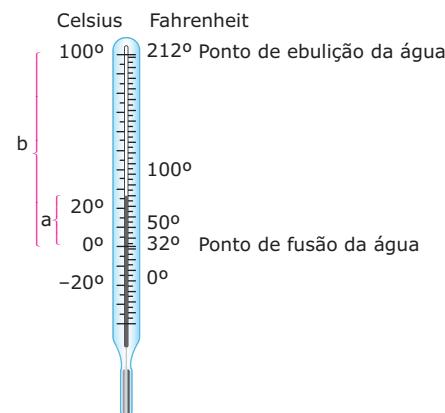



Figura 4: Termômetro graduado nas escalas Celsius e Fahrenheit.

Agora, vamos usar a figura 4 para obter uma equação de recorrência entre as temperaturas Celsius e Fahrenheit. Primeiro, considere os dois segmentos **a** e **b** mostrados na figura. Os valores da variação de temperatura dentro desses segmentos são diferentes dependendo de qual escala usamos. Porém, a razão entre eles (por exemplo, a/b) é a mesma, independentemente da escala usada. Chamando a temperatura registrada na escala Celsius por T_C e aquela registrada na escala Fahrenheit por T_F, podemos escrever:

$$\frac{a}{b} = \frac{T_C}{100} = \frac{T_F - 32}{180} \Rightarrow \frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9}$$

Substitua valores para T_C e T_F nessa equação e verifique que eles concordam com os valores mostrados no termômetro da figura 4.

O ZERO ABSOLUTO

Até onde sabemos, não existe um limite superior para a temperatura da matéria. Nas estrelas, a matéria acha-se no estado de plasma, e a temperatura pode atingir bilhões de graus. Ao contrário, existe uma temperatura mínima para a matéria. À medida que uma substância é resfriada, a agitação molecular diminui, e, se a temperatura pudesse chegar ao valor –273,15 ºC (–459,7 ºF), o movimento molecular cessaria. De fato, não é possível a temperatura abaixar até –273,15 ºC, embora seja possível aproximar-se desse número indefinidamente. Atualmente, os físicos experimentais conseguem fazer a temperatura descer a valores extremamente próximos a esse limite. Em aboratórios avançados de baixa temperatura, certas substâncias são resfriadas, ficando a décimos de bilionésimo de graus acima da temperatura mínima.

Os físicos do século XIX notaram que havia um limite inferior para a temperatura antes mesmo de terem certeza de que a matéria era formada por átomos, e que o movimento atômico se relacionava com a temperatura dos corpos. Já naquela época, os cientistas conseguiram obter, de forma indireta, o valor −273,15 ºC, ainda que imprecisamente. O cientista inglês William Thomson (1824-1907), também conhecido como lorde Kelvin, propôs uma escala termométrica na qual a temperatura de −273,15 ºC fosse igual a zero, valor que passou a ser chamado de zero absoluto. Assim, na escala Kelvin (também conhecida como escala absoluta), a temperatura correspondente ao repouso molecular vale 0 K (nesse caso, falamos zero Kelvin, e não zero grau Kelvin). Uma substância jamais pode ser resfriada até o zero absoluto, embora possa ser aproximada dele indefinidamente. Em 1995, os físicos obtiveram, pela primeira vez, o quinto estado da matéria (o condensado de Bose-Einstein) ao fazerem a temperatura diminuir até a incrível marca de 70 nanokelvin (70×10^{-9} K). Por mais que os cientistas consigam fazer uma substância se aproximar de 0 K, eles jamais atingirão esse valor, e tão pouco temperaturas Kelvin negativas.

Na escala Kelvin, um intervalo entre duas divisões inteiras e sucessivas tem valor exatamente igual ao valor do intervalo de 1 ºC. Por isso, a equação de recorrência entre as escalas Kelvin e Celsius é a seguinte:

$$T = T_C + 273,15$$

Observe que, substituindo $T_C = -273,15$ ºC nessa equação, obtemos T = 0 K, como esperado. Na maioria dos problemas, podemos arredondar a parcela 273,15 para o valor inteiro 273, sem perder muito a precisão. Assim, o ponto de fusão da água vale 273 K, uma temperatura ambiente de 27 ºC vale 300 K, e assim por diante.

A figura a seguir mostra três termômetros graduados nas escalas Fahrenheit, Celsius e Kelvin, marcando a temperatura ambiente. Outras marcações de temperaturas estão indicadas nos termômetros. Usando as equações que você aprendeu, faça alguns cálculos e certifique-se das correspondências entre as temperaturas indicadas nos três instrumentos.

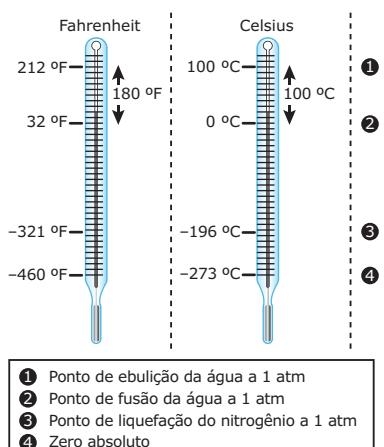
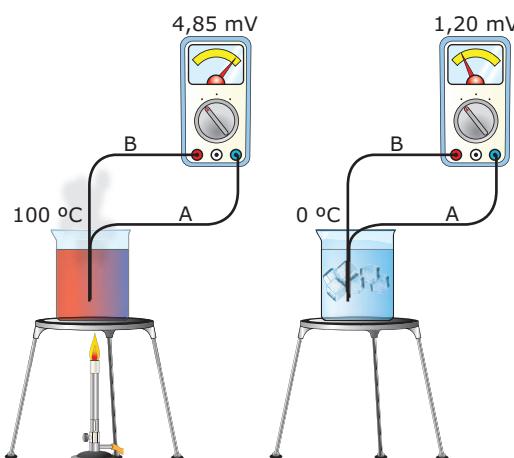
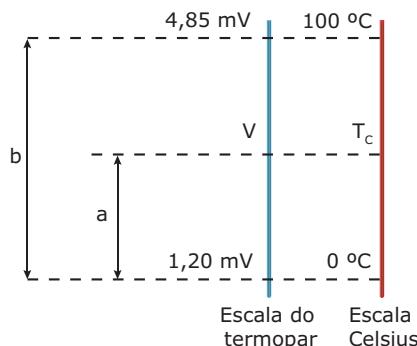



Figura 5: Correspondência entre temperaturas nas escalas Fahrenheit, Celsius e Kelvin.

PARA REFLETIR

Segundo matéria da revista *Veja,* de junho de 2008, a temperatura inicial do Universo era de 10^{28} graus. Por que, nesse caso, não é importante especificar a unidade da temperatura?

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Um termopar é constituído por dois fios metálicos diferentes. Quando duas extremidades dos fios são ligadas, aparece uma voltagem entre as extremidades livres. A junção dos fios é o bulbo do termômetro, pois a voltagem gerada é função da sua temperatura. Em uma feira de ciências, um estudante construiu um termômetro do tipo termopar usando dois fios A e B, conforme mostra a figura. Para calibrar o termômetro, o estudante mergulhou o termopar em água fervente a 100 ºC. As outras extremidades dos fios foram conectadas aos bornes de um milivoltímetro, que registrou uma voltagem de 4,85 mV. Depois, a experiência foi repetida com o termopar mergulhado em gelo fundente. Nesse caso, o aparelho marcou 1,20 mV.

A) Determinar a equação para converter a leitura do voltímetro em uma temperatura Celsius.

B) Calcular a temperatura local em ºC, considerando que o voltímetro marcou 2,30 mV depois que o termopar foi retirado da água e exposto ao ar livre.

Resolução:

A) Nesse termômetro, a voltagem gerada nos fios A e B representa uma propriedade termométrica. Por isso, é possível converter a leitura do voltímetro (mV) para uma escala de temperatura convencional, como a escala Celsius (ºC). A equação de conversão pode ser determinada com a ajuda da figura adiante, em que T_C é a temperatura na escala Celsius, e V é a leitura do voltímetro.

Como a relação entre os segmentos a e b é a mesma nas duas escalas, podemos escrever a seguinte igualdade:

$$\frac{a}{b} = \frac{T_C}{100} = \frac{V - 1,20}{4,85 - 1,20} \quad \Rightarrow \quad T_c = \frac{100(V - 1,20)}{3,65}$$

B) Para o termopar exposto ao ar livre, V = 2,30 mV. Substituindo esse valor na equação, obtemos a temperatura ambiente:

$$T_C = \frac{100\left(2,30 - 1,20\right)}{3,65} = 30,1\ ^{o}C$$

Comentário:

1. As temperaturas 0 ºC e 100 ºC não são medidas, mas sim definições. Por isso, não levamos em conta o número de algarismos significativos dessas temperaturas nos cálculos.
2. A leitura do voltímetro depende da temperatura de onde a união dos fios A e B (termopar) acha-se imersa, mas também da temperatura das extremidades livres ligadas ao voltímetro. Esse valor é a temperatura ambiente. Por isso, a equação deduzida é válida para um ambiente a 30,1 ºC. Se a feira de ciências fosse realizada no inverno, a equação de recorrência obtida seria diferente da que obtivemos, pois os pontos de ebulição (100 ºC) e de fusão (0 ºC) da água, em combinação com outra temperatura ambiente, produziriam voltagens diferentes de 4,85 mV e 1,20 mV.

DILATAÇÃO TÉRMICA

Um sólido é chamado de cristalino quando suas moléculas se ligam formando uma estrutura organizada, que se repete ao longo do corpo. A figura 6 mostra uma estrutura cristalina cúbica. As moléculas, representadas por esferas, ligam-se entre si através de forças elétricas. Simbolizamos essas ligações por meio de molas. O aumento da temperatura é acompanhado por uma maior vibração molecular. O resultado é que a distância média entre as moléculas também aumenta, e o sólido cresce em todas as direções: no comprimento, na largura e na altura. Quando a temperatura diminui, a vibração molecular e a distância média entre as moléculas diminuem, ou seja, a matéria sofre contração. Com raras exceções, as substâncias se dilatam quando a temperatura aumenta e se contraem quando a temperatura diminui.

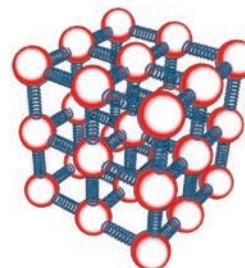



Figura 6: Modelo para um sólido cristalino.

Muitas situações do cotidiano estão relacionadas com a dilatação térmica. Na abertura deste módulo, comentamos sobre a dilatação dos fios em uma linha de transmissão. A junta de dilatação é outro exemplo de dilatação térmica. As juntas são pequenas separações deixadas entre peças adjacentes, permitindo que essas se dilatem livremente. Sem essas folgas, as peças se tocariam em um dia muito quente, gerando esforços de compressão e podendo causar deformações permanentes nas peças. Podemos observar juntas de dilatação em muitos lugares, como nos trilhos de uma estrada de ferro, entre duas lajes de um viaduto e na colocação de pisos e azulejos. A seguir, apresentaremos as equações para calcular a dilatação (ou contração) de um corpo quando sua temperatura é alterada. Neste módulo, estudaremos a dilatação térmica dos sólidos e líquidos. A dilatação dos gases fundamenta-se nos mesmos princípios microscópicos que discutimos. Porém, ela possui algumas particularidades que justificam sua apresentação em outro módulo.

DILATAÇÃO LINEAR

Embora os corpos sofram dilatação nas três dimensões, muitas vezes é interessante analisar a dilatação apenas em uma delas. Por exemplo, quando uma estrada de ferro é construída, os engenheiros devem prever uma folga mínima entre os trilhos para permitir a sua dilatação sem risco de empenamentos. Nesse caso, não é relevante conhecer a dilatação da altura e da largura dos trilhos. A dilatação em apenas uma dimensão, conhecida como dilatação linear, possui muitas aplicações na Física e na Engenharia.

Para calcular a dilatação linear, considere a barra cilíndrica mostrada na figura 7. Inicialmente, ela possui um comprimento L_0, à temperatura T_0. A seguir, considere que a barra seja aquecida homogeneamente e, após alguns minutos, o comprimento da barra passa a ser L, à temperatura T. O aumento no comprimento da barra, ΔL, também está indicado nesta figura.

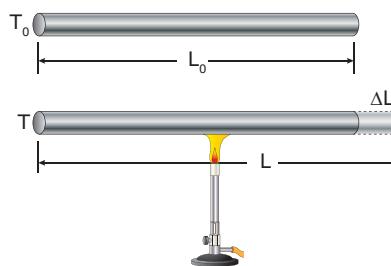



Figura 7: Dilatação linear de uma barra cilíndrica.

Desde que a variação de temperatura não seja muito grande, ΔL é proporcional a ΔT. Assim, no aquecimento mostrado na figura 7, se ΔT fosse o dobro, ΔL também seria o dobro, se ΔT fosse o triplo, ΔL seria o triplo, e assim por diante. Além disso, a dilatação ΔL também é proporcional ao comprimento inicial L_0. De fato, como ΔL é proporcional a ΔT e a L_0, significa que ΔL é proporcional ao produto $L_0\Delta T$. Introduzindo uma constante de proporcionalidade α, a equação para calcular a dilatação térmica é a seguinte:

$$\Delta L = L_0\alpha\Delta T$$

Nessa equação, α é chamado de coeficiente de dilatação térmica linear, valor que depende do material da barra. O coeficiente α pode ser considerado constante em uma grande faixa de temperaturas. Podemos estudar melhor o coeficiente α explicitando-o como:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0\Delta T}$$

Para ΔT = 1 ºC, teremos $\alpha = \Delta L/L_0$. Essa razão indica o percentual de aumento da barra em relação a seu comprimento inicial para uma variação unitária de temperatura. No Sistema Internacional, α é dado em 1/ºC ou $ºC^{-1}$, pois as grandezas L_0 e ΔL aparecem no numerador e no denominador da equação anterior, de modo que as unidades de comprimento se cancelam (desde que L_0 e ΔL sejam medidos em unidades idênticas).

A tabela a seguir contém valores experimentais médios do coeficiente de dilatação linear para sólidos comuns. As variações desses coeficientes com a temperatura são, em geral, desprezíveis comparadas às precisões exigidas nos cálculos em Engenharia.

TABELA 1 - Coeficientes de dilatação linear

Material	α ($ºC^{-1}$)
Alumínio	23×10^{-6}
Cobre	17×10^{-6}
Aço comum	11×10^{-6}
Titânio especial	10×10^{-6}
Vidro comum	$9,0 \times 10^{-6}$
Vidro pirex	$3,0 \times 10^{-6}$

O vidro é um material quebradiço, que se rompe facilmente quando sofre impactos mecânicos e dilatações térmicas bruscas e localizadas. Quando colocamos leite quente em um copo de vidro de paredes grossas, o risco de ruptura do vidro é maior do que em um copo de paredes finas. Neste último, o calor se difunde mais facilmente, e o copo se dilata de forma mais homogênea. O vidro pirex pode ser levado ao forno, sem risco de ser quebrado, porque esse material sofre pouca dilatação térmica (observe, na tabela anterior, que o coeficiente de dilatação do pirex é menor que o do vidro comum).

Alguns aparelhos elétricos podem ser acionados sob o comando da temperatura. Por exemplo, o circuito elétrico de uma geladeira é desligado sempre que a temperatura interna atinge um valor mínimo capaz de garantir a conservação dos alimentos. Em seguida, quando essa temperatura aumenta um pouco, o circuito é religado. Esse acionamento é feito por um interruptor conhecido por termostato, cujo princípio baseia-se na dilatação térmica. O mais simples dos termostatos é constituído por duas lâminas de metais diferentes (alumínio e cobre, por exemplo), unidas entre si, como ilustra a figura 8. Inicialmente, as lâminas estão à temperatura ambiente. Nessa situação, elas apresentam comprimentos iguais. Quando aquecidas, a lâmina de alumínio dilata mais que a de cobre, pois o coeficiente α do alumínio é maior que o do cobre. Como as lâminas são solidárias (presas entre si), e como o comprimento final da lâmina de alumínio deve ser maior que o da outra, as lâminas se curvam para o lado do cobre. No resfriamento, situação também ilustrada na figura 8, o comportamento da lâmina bimetálica se inverte. A lâmina de alumínio sofre a maior retração, e o sistema se curva para o outro lado.

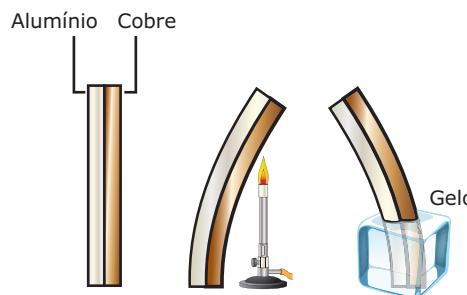



Figura 8: Dilatação de uma lâmina bimetálica.

PARA REFLETIR

Por que o bulbo de uma lâmpada de filamento deve ser de vidro bem fino?

DILATAÇÃO SUPERFICIAL E VOLUMÉTRICA

Considere o sólido mostrado na figura 9. Aquecendo-o, as arestas, as diagonais das faces e as diagonais internas dilatam-se. A dilatação térmica ocorre em todas as direções. Por isso, as superfícies desse corpo, assim como seu volume, sofrem dilatações.

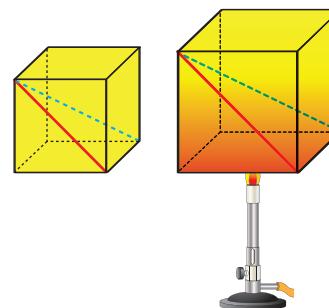



Figura 9: Dilatação de um sólido.

Para muitos materiais, o coeficiente de dilatação linear é igual em todas as direções. Nesses materiais, a dilatação é chamada de isotrópica. A dilatação isotrópica de um sólido acontece de maneira semelhante a uma ampliação fotográfica, à exceção de que a dilatação é tridimensional, enquanto a foto é bidimensional. Cada comprimento unitário de reta ou curva do sólido (interna ou superficial) aumenta de um valor igual ao coeficiente de dilatação linear para cada grau de aumento de temperatura. Por isso, podemos calcular a dilatação térmica da área de uma placa de área inicial A_0 por meio da seguinte equação:

$$\Delta A = A_0\beta\Delta T \qquad \text{sendo } \beta = 2\alpha$$

O fator β é chamado de coeficiente de dilatação superficial. O seu valor é, com alta precisão, igual ao dobro do coeficiente de dilatação linear. Isso pode ser justificado pela isotropia do material da placa. Observe a figura 10, que mostra uma placa retangular de base a_0 e altura b_0. A seguir, a placa é submetida a um aumento de temperatura ΔT. Os cálculos das dilatações da base e da altura estão indicados na figura. A dilatação da placa é representada pela área hachurada. Despreze a área do pequeno retângulo abaixo e à direita da placa (área em duplo hachurado), e calcule a dilatação da placa. Você vai obter exatamente a equação da dilatação superficial apresentada anteriormente.

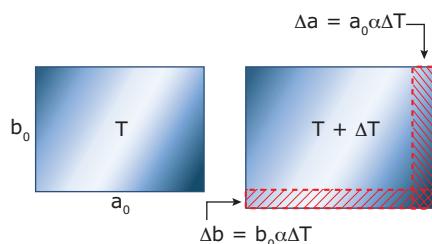



Figura 10: Dilatação isotrópica de uma placa.

Semelhantemente à dilatação superficial, a dilatação volumétrica isotrópica é dada por:

$$\Delta V = V_0\gamma\Delta T \qquad \text{sendo } \gamma = 3\alpha$$

O fator γ é o coeficiente de dilatação volumétrica, e vale, com alta precisão, o triplo do coeficiente linear.

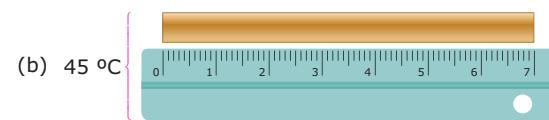
DILATAÇÃO DE SÓLIDOS VAZADOS

Objetos vazados, como anéis e tubos, dilatam-se como se fossem maciços. Isso pode ser comprovado por meio de uma experiência simples. Considere o anel e a esfera, ambos metálicos, mostrados na figura 11. À temperatura ambiente, o diâmetro do furo do anel é ligeiramente menor que o diâmetro da esfera, de modo que ela não pode passar pelo anel. Depois que esse é aquecido, todas as suas dimensões aumentam, inclusive o diâmetro do furo. O resultado é que a esfera pode atravessar o anel quente. Se aguardarmos o seu resfriamento, o anel voltará ao tamanho normal, e a esfera não poderá ser repassada pelo furo. Se a esfera fosse mantida dentro do anel quente, após o resfriamento, ela ficaria presa no anel. Esse tipo de fixação é usado em certos processos de fabricação. Para isso, os engenheiros usam a equação $\Delta d = d_0\alpha\Delta T$ para avaliar a dilatação do diâmetro do furo, sendo α o coeficiente de dilatação do material da peça vazada.

Figura 11: Montagem para comprovar a dilatação térmica de um anel metálico.

Uma situação interessante relacionada com a dilatação de corpos vazados acontece com vidros de conservas ou doces acondicionados nas geladeiras. Você já deve ter notado que a tampa metálica desses frascos costuma ficar emperrada quando tentamos abri-los logo após a retirada do produto da geladeira. Como o coeficiente de dilatação térmica dos metais é maior que o coeficiente de dilatação do vidro (observe a tabela 1), a tampa metálica contrai-se muito mais que a boca do recipiente quando o produto é resfriado (lembre-se que a contração da boca do recipiente é proporcional ao coeficiente de dilatação do vidro, enquanto a contração da tampa é proporcional ao coeficiente do metal). É por isso que a tampa fica emperrada. Uma maneira fácil de abrir o recipiente consiste em jogar água quente sobre a tampa. Dessa forma, ela se dilata, podendo ser retirada facilmente.

Finalizamos aqui a teoria sobre a dilatação de sólidos. A seguir, apresentamos uma pergunta para você refletir e um exercício resolvido.

PARA REFLETIR

Uma placa metálica possui dois furos. Se a placa for aquecida, a distância entre os furos aumentará ou diminuirá?

EXERCÍCIO RESOLVIDO

02. Uma régua de aço de 7,0 cm foi calibrada a 20 ºC. A régua é usada em um ambiente muito quente, onde a temperatura é de 45 ºC. Determinar o erro percentual cometido ao se usar a régua nesse ambiente e discutir a viabilidade do uso da régua nesse local.

Resolução:

Na figura (a), a régua encontra-se em um local onde a temperatura é de 20 ºC. Nesse local, o comprimento da régua vale, de fato, 7,0 cm. Na figura (b), a régua e uma barra estão a 45 ºC. Nessa condição, a régua indica um comprimento de 7,0 cm para a barra. Entretanto, a barra mede mais que isso, pois a régua de cima, a 20 ºC, é que fornece a medida correta.

A equação da dilatação linear da régua é dada por:

$$\Delta L = L - L_0 = L_0\alpha\Delta T$$

Nessa equação, L é o comprimento da barra (comprimento da régua a 45 ºC), L_0 = 7,0 cm é o comprimento da régua a 20 ºC, ΔT = 45 – 20 = 25 ºC é a elevação de temperatura e $\alpha = 11 \times 10^{-6}$ ºC^{-1} é o coeficiente de dilatação linear do aço. Substituindo esses valores na equação anterior, obtemos:

$$L - 7{,}0 = 7{,}0.11 \times 10^{-6}.25 \Rightarrow L = 7{,}001925 \text{ cm}$$

O erro da medição, portanto, é:

$$\text{Erro} = \frac{L - L_0}{L} = \frac{7{,}00195 - 7{,}0}{7{,}001925} = 0{,}00028 \text{ ou } 0{,}028\%$$

Comentário:

A régua é graduada em milímetros. Considerando o conceito de algarismos significativos, a medição do comprimento da barra é 70,0 mm (o segundo zero é o algarismo duvidoso). Esse valor coincide com o comprimento corrigido pela dilatação térmica, e dado com 3 algarismos significativos. Portanto, a precisão da régua não é comprometida a 45 ºC. De fato, como o coeficiente de dilatação do aço é baixo, réguas de aço são usadas em laboratórios e oficinas de mecânica fina. Réguas de cobre e alumínio não são adequadas, tendo em vista os valores elevados do coeficiente de dilatação desses materiais.

DILATAÇÃO DOS LÍQUIDOS

Os líquidos são substâncias em que as forças de atração entre as moléculas ou átomos são fracas. Por isso, em geral, os líquidos apresentam coeficientes de dilatação térmica maiores que os sólidos. A tabela a seguir mostra valores de coeficientes de dilatação volumétrica de alguns líquidos importantes, e que podem ser considerados constantes em uma grande faixa de temperatura.

TABELA 2 - Coeficientes de dilatação volumétrica

Material	γ (ºC^{-1})
Álcool etílico	11×10^{-4}
Gasolina	$9{,}0 \times 10^{-4}$
Glicerina	$5{,}0 \times 10^{-4}$
Mercúrio	$2{,}0 \times 10^{-4}$

Agora, considere um líquido contido em um béquer, como mostra a figura 12. Quando aquecido, o líquido se dilata, mas o béquer também. Por isso, a dilatação que vemos acontecer (volume derramado) não é a dilatação real do líquido, mas sim a sua dilatação aparente.

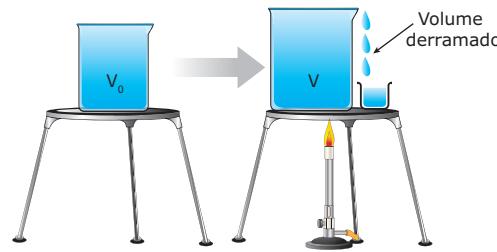



Figura 12: Dilatação aparente de um líquido.

A dilatação aparente do líquido (volume derramado) é a diferença entre a dilatação real do líquido e a dilatação do béquer:

$$\Delta V_{aparente} = \Delta V_{líquido} - \Delta V_{béquer}$$

As dilatações do líquido e do béquer podem ser calculadas pela equação da dilatação volumétrica:

$$\Delta V_{líquido} = V_0.\gamma_{líquido}.\Delta T \quad \text{e} \quad \Delta V_{béquer} = V_0.\gamma_{béquer}.\Delta T$$

O volume inicial do líquido é o mesmo da parte interna do béquer. A variação de temperatura é comum ao líquido e ao béquer. Substituindo essas grandezas na equação anterior, obtemos a dilatação aparente do líquido:

$$\Delta V_{aparente} = V_0.\gamma_{líquido}.\Delta T - V_0.\gamma_{béquer}.\Delta T$$

Colocando $V_0\Delta t$ em evidência, obtemos:

$$\Delta V_{aparente} = V_0\Delta T(\gamma_{líquido} - \gamma_{béquer})$$

O termo entre parênteses (diferença entre os coeficientes de dilatação térmica volumétrica do líquido e do béquer) é denominado coeficiente de dilatação térmica aparente. Esse valor depende do par líquido / recipiente. Por exemplo, para o par mercúrio / vidro pirex, o coeficiente de dilatação aparente vale:

$$\gamma_{aparente} = \gamma_{mercúrio} - \gamma_{vidro\ pirex} = 2{,}0 \times 10^{-4} - 3{,}0 \times 10^{-6}$$

$$\gamma_{aparente} = 2{,}0 \times 10^{-4} - 0{,}030 \times 10^{-4} = 1{,}97 \times 10^{-4} \text{ ºC}^{-1}$$

A interpretação desse número é a seguinte: uma unidade de volume, como 1 cm^3 de mercúrio, ocupando um volume de 1 cm^3 em um recipiente de vidro pirex, sofre uma dilatação aparente de 0,000197 cm^3 quando a temperatura se eleva de 1 ºC. Para um volume não unitário e uma variação de temperatura não unitária, a dilatação aparente pode ser calculada pela equação que deduzimos há pouco. Na figura 12, para V_0 = 1 000 cm^3 e ΔT = 100 ºC, por exemplo, o volume de mercúrio derramado seria:

$$V_{derramado} = \Delta V_{aparente} = V_0.\gamma_{aparente}.\Delta T$$

$$V_{derramado} = 1\,000.1{,}97 \times 10^{-4}.100 = 19{,}7 \text{ cm}^3$$

Você também pode obter esse valor calculando a dilatação do líquido, depois a dilatação do béquer e, por último, subtraindo esses dois valores.

PARA REFLETIR

Um termômetro de coluna de mercúrio funcionaria se os coeficientes de dilatação do vidro e do mercúrio fossem iguais?

A DILATAÇÃO DA ÁGUA

A maioria das substâncias sofre expansão quando aquecidas, e retração quando resfriadas. A água, entretanto, apresenta um comportamento invertido entre 0 ºC e 4 ºC. O gráfico na figura 13 ilustra a dilatação térmica de massas iguais (1,0 g) de álcool etílico e água, aquecidas a partir de 0 ºC. Observe o comportamento regular e esperado do álcool, que sofre dilatação durante toda a faixa de elevação da temperatura. O mesmo não ocorre com a água, que tem o volume reduzido entre 0 ºC a 4 ºC. A partir de 4 ºC, o comportamento da água é normal. A água, a 4 ºC, apresenta o menor volume e, consequentemente, densidade máxima.

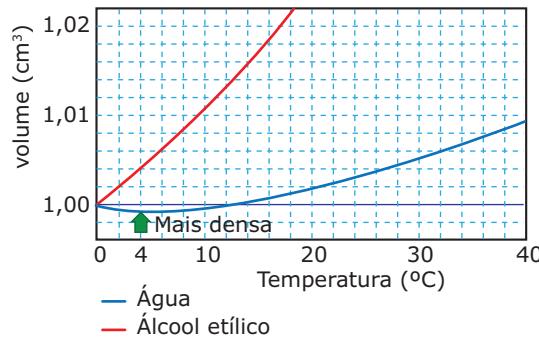



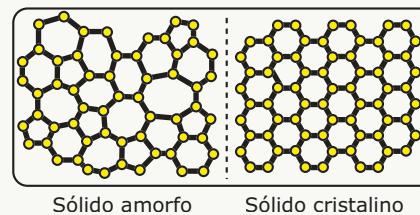
Figura 13: A dilatação regular do álcool e irregular da água.

Em regiões frias, a vida marinha poderia desaparecer caso a água se dilatasse regularmente em toda a faixa de temperaturas. Nesses locais, as camadas superiores de um lago se congelam, mas as camadas inferiores continuam no estado líquido, permitindo a manutenção de plantas e animais aquáticos. Nessas regiões, quando o inverno inicia, a temperatura ambiente e a temperatura da superfície do lago começam a diminuir. À medida que a água da superfície se resfria, ela sofre contração, torna-se mais densa e afunda, enquanto a água das camadas mais baixas sobe. Essas correntes descendentes e ascendentes (chamadas de correntes convectivas) permitem que a água do lago se resfrie homogeneamente até a temperatura de 4 ºC.

A partir desse ponto, a água da superfície continua se resfriando, pois a temperatura ambiente continua caindo, mas a água torna-se menos densa, pois ela sofre expansão quando a temperatura torna-se inferior a 4 ºC. Por isso, a água da superfície flutua sobre as camadas inferiores, que se mantêm a 4 ºC. O resfriamento da superfície do lago continua, e a superfície se congela a 0 ºC, atingindo valores muitos graus abaixo de zero.

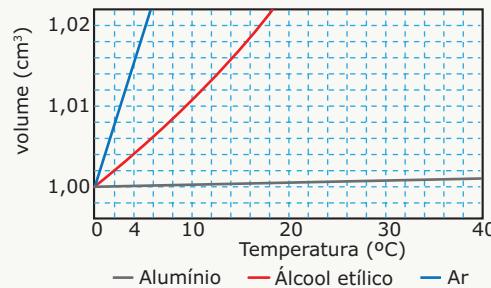
PARA REFLETIR

Em 2000, o submarino Kursk afundou no mar de Barents, matando os 118 tripulantes. Na ocasião, um jornalista narrou: "O resgate é quase impossível, os mergulhadores enfrentam temperaturas muito abaixo de 0 ºC." Por que essa notícia não procede?

LEITURA COMPLEMENTAR

ESTRUTURA DA MATÉRIA

Neste módulo, estudamos a temperatura e a dilatação térmica. Vimos que esses conceitos relacionam-se diretamente com a estrutura molecular da matéria. Nesta leitura, vamos discutir alguns aspectos da organização das moléculas para entender melhor a dilatação térmica e outros fenômenos ligados à estrutura da matéria.

Os estados da matéria e suas propriedades

A maioria das propriedades físicas depende do estado físico da matéria. A viscosidade, a densidade e o coeficiente de dilatação térmica são exemplos de propriedades que dependem do estado físico. Os sólidos apresentam moléculas ou átomos próximos e fortemente ligados. É por isso que esses corpos apresentam forma e volume definidos. Além disso, a maioria dos sólidos resiste às deformações de tração, compressão e cisalhamento (esforço que ocorre quando uma força age paralelamente à superfície de um corpo, forçando suas camadas internas a deslizarem umas sobre as outras). Os sólidos, em geral, apresentam baixos coeficientes de dilatação térmica, também, por causa da forte ligação entre suas moléculas.

Os sólidos cristalinos, como o diamante e o sal de cozinha, são formados por moléculas ou átomos organizados em uma estrutura que se repete ao longo da matéria. Nos sólidos amorfos, como vidros e plásticos, as moléculas ou átomos combinam-se de uma forma não muito organizada. A figura seguinte mostra uma estrutura amorfa e outra cristalina.

Sólido amorfo Sólido cristalino

Os líquidos são constituídos por grupos de moléculas afastados uns dos outros, muito mais do que nos sólidos. Nem todas as moléculas de um líquido acham-se ligadas, de modo que não há uma rede molecular como aquela existente nos sólidos. As forças de atração entre as moléculas são fracas e, em consequência, os líquidos não resistem ao cisalhamento e escorrem (alguns líquidos são muito viscosos, como o mel e o óleo de motor, e escorrem com dificuldade). Alguns sólidos amorfos apresentam estrutura molecular semelhante à dos

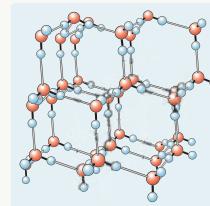
líquidos. Esse é o caso da manteiga, da borracha e do vidro. Em igrejas centenárias, a base dos vidrais é mais espessa que o topo, revelando que o vidro escorreu lentamente ao longo dos séculos. Outras características marcantes de um líquido são a resistência à compressão e a constância de volume. Quando a água em um copo é jogada em um prato, o volume não se altera, embora a forma se molde ao novo formato do recipiente.

Um gás é formado por moléculas ou átomos muito separados entre si, e a força de interação entre essas partículas é muito pequena. Por isso, um gás apresenta forma e volume indefinidos. Um gás tende a ocupar o volume que lhe é oferecido e é muito pouco resistente aos esforços mecânicos. As moléculas de um gás são muito menos agregadas que as moléculas de um líquido, que, por sua vez, são menos agregadas que as moléculas dos sólidos. Por isso, os gases sofrem dilatação térmica com muito mais facilidade que os líquidos, e estes se dilatam mais facilmente que os sólidos. Isso pode ser constatado no gráfico a seguir, que ilustra o aquecimento de amostras de alumínio, álcool etílico e ar, todas ocupando inicialmente 1 cm³ a 0 ºC.

Em altíssimas temperaturas, um gás vira plasma, o quarto estado da matéria. O plasma é uma espécie de nuvem eletrizada, com muitos elétrons desligados dos núcleos. Por isso, o plasma é um ótimo condutor de eletricidade. A matéria das estrelas acha-se predominantemente no estado de plasma.

Tensão superficial

A tensão superficial é um efeito que ocorre na superfície livre de um líquido. As moléculas situadas no interior do líquido são atraídas em todas as direções pelas moléculas vizinhas e, por isso, a resultante dessas forças é nula. As moléculas da superfície, porém, sofrem uma força de atração exercida pelas moléculas de líquido situadas abaixo ou lateralmente muito mais intensa do que a força de atração exercida pelas moléculas de ar situadas acima da superfície. Para garantir o equilíbrio, a superfície adquire uma curvatura, comportando-se como uma membrana elástica. A força exercida por essa membrana, somada à força exercida pelas moléculas de ar, equilibra-se com a força de atração exercida pelas moléculas de líquido da parte inferior da superfície.

O conceito de tensão superficial explica muitas situações que você já deve ter visto. Um inseto consegue andar sobre a superfície da água, uma bolha de sabão pode atingir um volume expressivo sem estourar e uma agulha de aço pode flutuar em um copo de água. Tudo isso acontece porque a superfície da água comporta-se como uma membrana elástica.

Quando um líquido entra em contato com um sólido, as moléculas do sólido atraem as moléculas do líquido. Essas são as forças de adesão. Por sua vez, as moléculas do líquido atraem-se uma às outras através das forças de coesão. Quando as forças de adesão são maiores que as forças de coesão, o líquido se espalha sobre o sólido. Dizemos, nesse caso, que o líquido molha a superfície. Isso ocorre, por exemplo, quando um suco ou água é derramado sobre uma toalha. Outros exemplos de forças adesivas maiores que as coesivas são: a tinta usada para cobrir uma parede, a parafina derretida subindo pelo pavio de uma vela e uma esponja que se encharca sobre a superfície úmida.

Quando a força de coesão é maior que a força de adesão, o líquido não molha a superfície. Um exemplo disso ocorre quando um pouco de mercúrio cai sobre o chão. O mercúrio fragmenta-se em pequenas gotas que não molham o chão. O mercúrio apresenta uma tensão superficial muito alta, e ele não molha a maioria dos sólidos comuns. Quando colocamos água e mercúrio em um tubo capilar, observamos meniscos nas superfícies livres dos líquidos. Como a água molha a parede de vidro, o menisco é côncavo. O mercúrio não molha a parede, e o menisco é convexo. A figura a seguir ilustra essas duas situações.

Dilatação anômala da água

No final deste módulo, estudamos a dilatação anômala da água do ponto de vista macroscópico. Agora, vamos explicar esse fenômeno do ponto de vista microscópico. Para isso, observe a figura seguinte, que mostra um esquema da estrutura cristalina do gelo, constituída por estruturas hexagonais. As bolas vermelhas são átomos de oxigênio e as azuis são átomos de hidrogênio, formando moléculas de água (H_2O). Em cada molécula, a ligação entre os dois átomos de hidrogênio e o átomo de oxigênio é representada por barras curtas e pretas. As moléculas de água ligam-se umas às outras através das ligações indicadas pelas barras longas e cinzas, unindo o oxigênio de cada molécula a um dos átomos de hidrogênio de uma das moléculas vizinhas.

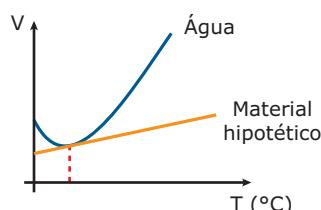
Em geral, a fase líquida de uma substância é menos densa que a fase sólida. No caso da água, existem grandes espaços vazios nos cristais. Quando o gelo se funde, muitas ligações entre as moléculas se rompem, e essas moléculas ocupam tais espaços. Por isso, ao contrário da maioria das substâncias, a fusão da água produz uma redução no volume e um aumento na densidade da fase líquida em relação à fase sólida. Assim, o gelo flutua na água. Essa redução de volume persiste mesmo quando a fase líquida é aquecida de 0 ºC até 4 ºC. Para temperaturas maiores, o colapso das estruturas hexagonais continua ocorrendo, porém o aumento da vibração molecular torna-se predominante. Acima de 4 ºC, a água se comporta normalmente, dilatando-se com o aquecimento.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (Fatec-SP) Em um laboratório, um cientista determinou a temperatura de uma substância. Considerando-se as temperaturas:

−100 K; 32 ºF; −290 ºC e −250 ºC

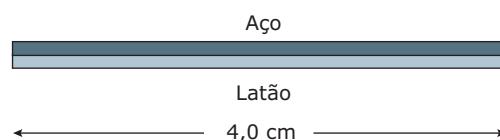
Os possíveis valores encontrados pelo cientista foram

A) 32 ºF e −250 ºC.
B) 32 ºF e −290 ºC.
C) −100 K e 32 ºF.
D) −100 K e −250 ºC.
E) −290 ºC e −250 ºC.

02. (Unimep-SP) Mergulham-se dois termômetros na água: um graduado na escala Celsius e o outro na Fahrenheit. Espera-se o equilíbrio térmico e nota-se que a diferença entre as leituras nos dois termômetros é igual a 92. A temperatura da água valerá, portanto,

A) 28 ºC e 120 ºF.
B) 32 ºC e 124 ºF.
C) 75 ºC e 167 ºF.
D) 60 ºC e 152 ºF.

03. (UFLA-MG–2006) Têm-se uma peça de metal com um orifício de diâmetro d_1 e um pino do mesmo metal de diâmetro d_2, ligeiramente maior que o orifício d_1, quando à mesma temperatura. Para introduzir o pino no orifício, pode-se

A) aquecer o orifício e o pino igualmente.
B) resfriar apenas o pino.
C) aquecer o pino e resfriar o orifício.
D) resfriar apenas o orifício.
E) resfriar o orifício e o pino igualmente.

04. (UFPel-RS) A água, substância fundamental para a vida no planeta, apresenta uma dilatação anômala. Suponha que um recipiente, feito com um determinado material hipotético, se encontre completamente cheio de água a 4 ºC.

De acordo com o gráfico e seus conhecimentos, é **CORRETO** afirmar que

A) apenas a diminuição de temperatura fará com que a água transborde.
B) tanto o aumento da temperatura quanto sua diminuição não provocarão o transbordamento da água.
C) qualquer variação de temperatura fará com que a água transborde.
D) a água transbordará apenas para temperaturas negativas.
E) a água não transbordará com um aumento de temperatura, somente se o calor específico da substância for menor que o da água.

05. (Unicamp–2007 / Adaptado) Pares metálicos constituem a base de funcionamento de certos disjuntores elétricos, que são dispositivos usados na proteção de instalações elétricas contra curtos-circuitos. Considere um par metálico formado por uma haste de latão e outra de aço, que, na temperatura ambiente, tem comprimento L = 4,0 cm. Os coeficientes de dilatação desses materiais são:

$$\alpha_{latão} = 1,9 \times 10^{-5}\ ºC^{-1} \text{ e } \alpha_{aço} = 1,3 \times 10^{-5}\ ºC^{-1}$$

A) **EXPLIQUE** como esse dispositivo protege a instalação elétrica.
B) Se a temperatura aumentar de 60 ºC, qual será a diferença entre os novos comprimentos das hastes de aço e latão?

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (CEFET-MG–2009) O conceito de temperatura foi aprimorado nos últimos séculos. Nos dias atuais, está relacionado à(ao)

A) ponto tríplice da água.
B) grau de agitação térmica.
C) equilíbrio térmico do meio.
D) mudança de estado físico.
E) sensação de quente e frio.

02. (UFLA-MG–2006) Alguns corpos apresentam características físicas que variam com a temperatura, as quais são chamadas de propriedades termométricas.

Os termômetros se utilizam dessas propriedades para medir temperatura. Analise as proposições I, II e III a seguir.

I. A pressão de um gás a volume constante é considerada uma propriedade termométrica.
II. A resistência elétrica é considerada uma propriedade termométrica.
III. A massa de um corpo é considerada uma propriedade termométrica.

A) Apenas a proposição I está correta.
B) As proposições I, II e III estão corretas.
C) Apenas as proposições I e II estão corretas.
D) Apenas a proposição II está correta.
E) Apenas a proposição III está correta.

03. (Mackenzie-SP–2010) Um termômetro graduado na escala Celsius (ºC) é colocado juntamente com dois outros, graduados nas escalas arbitrárias A (ºA) e B (ºB), em uma vasilha contendo gelo (água no estado sólido) em ponto de fusão, ao nível do mar. Em seguida, ainda ao nível do mar, os mesmos termômetros são colocados em uma outra vasilha, contendo água em ebulição, até atingirem o equilíbrio térmico. As medidas das temperaturas, em cada uma das experiências, estão indicadas nas figuras 1 e 2, respectivamente.

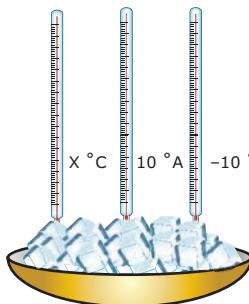
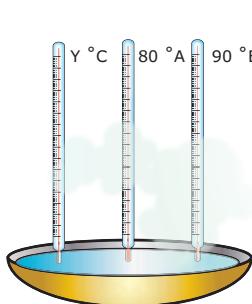
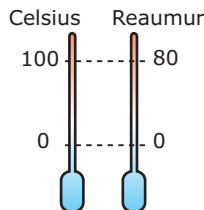
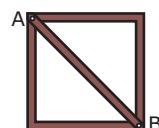



Figura 1 Figura 2

Para uma outra situação, na qual o termômetro graduado na escala A indica 17 ºA, o termômetro graduado na escala B e o graduado na escala Celsius indicarão, respectivamente,

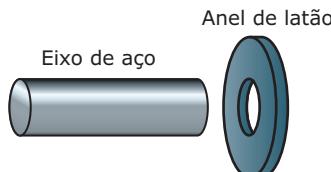
A) 0 ºB e 7 ºC.
B) 0 ºB e 10 ºC.
C) 10 ºB e 17 ºC.
D) 10 ºB e 27 ºC.
E) 17 ºB e 10 ºC.

04. (FEPECS-DF–2007) A figura mostra a correspondência entre a escala Celsius e a Reaumur, usada antigamente na França.

Mede-se a temperatura de uma criança com um termômetro graduado na escala Reaumur e obtém-se 32 ºR. Considerando-se 36,5 ºC como a temperatura normal dos seres humanos, verifica-se, então, que a criança está febril, pois sua temperatura, em graus Celsius, é de

A) 38 ºC.
B) 38,5 ºC.
C) 39 ºC.
D) 39,5 ºC.
E) 40 ºC.

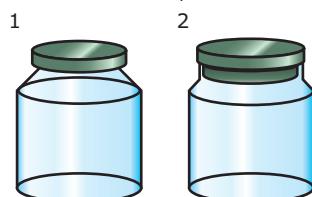
05. (FGV-SP–2008) Um serralheiro monta, com o mesmo tipo de vergalhão de ferro (de coeficiente de dilatação linear α), a armação esquematizada.

A barra transversal que liga os pontos A e B não exerce forças sobre esses pontos. Se a temperatura da armação for aumentada de $\Delta\theta$, a barra transversal de comprimento inicial ℓ_0

A) continua não exercendo forças sobre os pontos A e B.
B) empurrará os pontos A e B, pois ficará 2 vezes maior que o novo tamanho que deveria assumir.
C) empurrará os pontos A e B, pois ficará $\ell_0.\alpha.\Delta\theta$ vezes maior que o novo tamanho que deveria assumir.
D) tracionará os pontos A e B, pois ficará $\sqrt{2}$ vezes menor que o novo tamanho que deveria assumir.
E) tracionará os pontos A e B, pois ficará $\ell_0.\alpha.\Delta\theta$ vezes menor que o novo tamanho que deveria assumir.

06. (Mackenzie-SP) Com uma régua de latão (coeficiente de dilatação linear 2,0 x 10^{-5} $ºC^{-1}$) aferida a 20 ºC, mede-se a distância entre dois pontos. Essa medida foi efetuada a uma temperatura acima de 20 ºC, motivo pelo qual apresenta um erro de 0,05%. A temperatura na qual foi feita essa medida é

A) 50 ºC.
B) 45 ºC.
C) 40 ºC.
D) 35 ºC.
E) 25 ºC.

07. (CEFET-MG–2009) Uma placa de material metálico apresenta um orifício de pequenas dimensões. Ao ser aquecida, sua superfície _______________ e o orifício _______________. Os termos da opção que preenchem, **CORRETAMENTE**, as lacunas são

A) dilata, dilata.
B) dilata, contrai.
C) contrai, contrai.
D) não se altera, dilata.
E) contrai, não se altera.

08. (UFMG–2006) João, chefe de uma oficina mecânica, precisa encaixar um eixo de aço em um anel de latão, como mostrado nesta figura:

À temperatura ambiente, o diâmetro do eixo é maior que o do orifício do anel. Sabe-se que o coeficiente de dilatação térmica do latão é maior que o do aço. Diante disso, são sugeridos a João alguns procedimentos, descritos nas alternativas a seguir, para encaixar o eixo no anel. Assinale a alternativa que apresenta um procedimento que **NÃO** permite esse encaixe.

A) Resfriar apenas o eixo
B) Aquecer apenas o anel
C) Resfriar o eixo e o anel
D) Aquecer o eixo e o anel

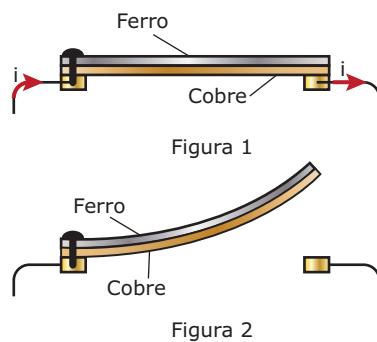
09. (UEPG-PR) Um professor mostra para a sala os dois frascos de vidro vazios 1 e 2 da figura. O professor informa que as tampas são feitas de um mesmo material indeformável e diferente do vidro, que as duas tampas estão plenamente ajustadas aos frascos, uma internamente e outra externamente, e que o coeficiente de expansão dos vidros é α_v e o das tampas é α_t.

O professor pergunta o que pode acontecer com os vidros se a temperatura ambiente aumentar. Duas alunas se manifestaram:

Cecília: Apenas o vidro 1 se quebrará se $\alpha_v > \alpha_t$.

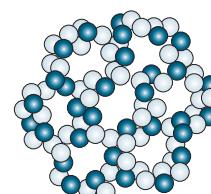
Fernanda: Apenas o vidro 2 se quebrará se $\alpha_v < \alpha_t$.

Sobre os comentários das alunas,

A) as duas acertaram.
B) as duas erraram.
C) apenas Cecília acertou.
D) apenas Fernanda acertou.

10. (CEFET-MG–2009) Uma barra de zinco e outra de alumínio de mesmo comprimento, L_0 = 100,00 cm, à temperatura de 20 ºC, estão soldadas como mostra a figura. Os coeficientes de dilatação linear dos metais são: α_{Zn} = 26 x 10^{-6} ºC e α_{Al} = 22 x 10^{-6} ºC.

A barra formada por esses materiais, ao ser aquecida até 220 ºC, apresentará um comprimento final, L_f, em metros, igual a

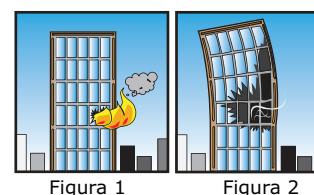
A) 2,0044.
B) 2,0048.
C) 2,0052.
D) 2,0069.
E) 2,0096.

11. (UFRN–2010) A figura 1, a seguir, mostra o esquema de um termostato que utiliza uma lâmina bimetálica composta de dois metais diferentes – ferro e cobre – soldados um sobre o outro. Quando uma corrente elétrica aquece a lâmina acima de uma determinada temperatura, os metais sofrem deformações, que os encurvam, desfazendo o contato do termostato e interrompendo a corrente elétrica, conforme mostra a figura 2.

A partir dessas informações, é **CORRETO** afirmar que a lâmina bimetálica encurva-se para cima devido ao fato de

A) o coeficiente de dilatação térmica do cobre ser maior que o do ferro.
B) o coeficiente de dilatação térmica do cobre ser menor que o do ferro.
C) a condutividade térmica do cobre ser maior que a do ferro.
D) a condutividade térmica do cobre ser menor que a do ferro.

12. (UECE–2009) O mercúrio, que corre dentro dos termômetros, por exemplo, não molha o vidro, nem qualquer tipo de papel. Isso ocorre porque os átomos de mercúrio

A) em contato com a superfície do vidro se desfazem, espalhando-se.
B) possuem força de coesão maior que a força de atração com a superfície do vidro.
C) são polares e as moléculas da superfície do vidro são apolares.
D) possuem força de atração com a superfície do vidro maior que a força de coesão.

13. (FURG-RS) As moléculas da água no estado cristalino (gelo) se organizam em estruturas hexagonais com grandes espaços vazios. Ao ocorrer fusão, essas estruturas são rompidas, e as moléculas se aproximam umas das outras, ocasionando redução no volume da substância. O aumento na densidade ocorre inclusive na fase líquida, de 0 a 4 ºC.

O texto anterior explica o conceito de

A) calor específico.
B) evaporação.
C) dilatação anômala.
D) capacidade térmica.
E) dilatação aparente.

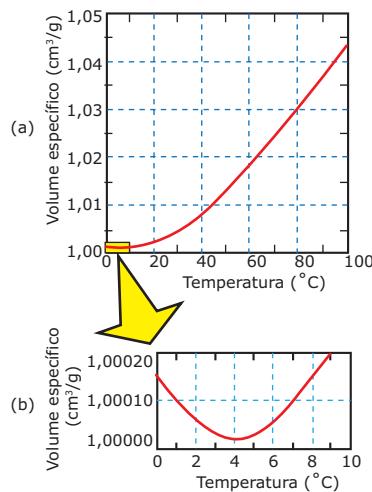
14. (UFRJ–2008) Um incêndio ocorreu no lado direito de um dos andares intermediários de um edifício construído com estrutura metálica, como ilustra a figura 1.

1. Em consequência do incêndio, que ficou restrito ao lado direito, o edifício sofreu uma deformação, como ilustra a figura 2.

Figura 1 Figura 2

Com base em conhecimentos de termologia, **EXPLIQUE** por que o edifício entorta para a esquerda e não para a direita.

FÍSICA

15. (UFPE) Uma caixa cúbica metálica de 10 L está completamente cheia de óleo, quando a temperatura do conjunto é de 20 ºC. Elevando-se a temperatura até 30 ºC, um volume igual a 80 cm^3 de óleo transborda. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação volumétrica do óleo é igual a $0{,}90 \times 10^{-3}$ ºC^{-1}, qual é o valor do coeficiente de dilatação linear do metal, em unidades de 10^{-6} ºC^{-1}?

SEÇÃO ENEM

01. (Enem–2009) Durante uma ação de fiscalização em postos de combustíveis, foi encontrado um mecanismo inusitado para enganar o consumidor. Durante o inverno, o responsável por um posto de combustível compra álcool por R$ 0,50/litro, a uma temperatura de 5 ºC. Para revender o líquido aos motoristas, instalou um mecanismo na bomba de combustível para aquecê-lo, para que atinja a temperatura de 35 ºC, sendo o litro de álcool revendido a R$ 1,60. Diariamente o posto compra 20 mil litros de álcool a 5 ºC e os revende.

Com relação à situação hipotética descrita no texto e dado que o coeficiente de dilatação volumétrica do álcool é de 1×10^{-3} ºC^{-1}, desprezando-se o custo da energia gasta no aquecimento do combustível, o ganho financeiro que o dono do posto teria obtido devido ao aquecimento do álcool após uma semana de vendas estaria entre

A) R$ 500,00 e R$ 1 000,00.
B) R$ 1 050,00 e R$ 1 250,00.
C) R$ 4 000,00 e R$ 5 000,00.
D) R$ 6 000,00 e R$ 6 900,00.
E) R$ 7 000,00 e R$ 7 950,00.

02. (Enem–2009) De maneira geral, se a temperatura de um líquido comum aumenta, ele sofre dilatação. O mesmo não ocorre com a água, se ela estiver a uma temperatura próxima a de seu ponto de congelamento. O gráfico mostra como o volume específico (inverso da densidade) da água varia em função da temperatura, com uma aproximação na região entre 0 ºC e 10 ºC, ou seja, nas proximidades do ponto de congelamento da água.

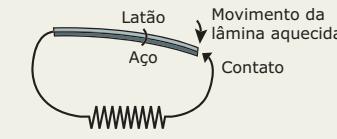
HALLIDAY & RESNICK. *Fundamentos de Física:* Gravitação, Ondas e Termodinâmica. v. 2. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991.

A partir do gráfico, é correto concluir que o volume ocupado por certa massa de água

A) diminui em menos de 3% ao se resfriar de 100 ºC a 0 ºC.
B) aumenta em mais de 0,4% ao se resfriar de 4 ºC a 0 ºC.
C) diminui em menos de 0,04% ao se aquecer de 0 ºC a 4 ºC.
D) aumenta em mais de 4% ao se aquecer de 4 ºC a 9 ºC.
E) aumenta em menos de 3% ao se aquecer de 0 ºC a 100 ºC.

03. (Enem–1999) A gasolina é vendida por litro, mas, em sua utilização como combustível, a massa é o que importa. Um aumento da temperatura do ambiente leva a um aumento no volume da gasolina. Para diminuir os efeitos práticos dessa variação, os tanques dos postos de gasolina são subterrâneos. Se os tanques não fossem subterrâneos:

I. Você levaria vantagem ao abastecer o carro na hora mais quente do dia, pois estaria comprando mais massa por litro de combustível.
II. Abastecendo com a temperatura mais baixa, você estaria comprando mais massa de combustível para cada litro.
III. Se a gasolina fosse vendida por kg em vez de por litro, o problema comercial decorrente da dilatação da gasolina estaria resolvido.

Dessas considerações, somente

A) I é correta.
B) II é correta.
C) III é correta.
D) I e II são corretas.
E) II e III são corretas.

GABARITO

Fixação

01. A 02. C 03. B 04. C

05. A) Como o coeficiente de dilatação do latão é maior que o do aço, a lâmina se encurva para o lado do aço devido ao aquecimento gerado pela passagem da corrente elétrica de curto circuito. Assim, a lâmina encurvada não toca mais o fio, abrindo o circuito e interrompendo a passagem de corrente elétrica.

B) $1{,}44 \times 10^{-3}$ cm

Propostos

01. B 02. C 03. B 04. E 05. A 06. B 07. A 08. C 09. A 10. E 11. A 12. B 13. C

14. Um metal se dilata quando é aquecido. Assim, a estrutura metálica do lado direito do prédio, após o incêndio, deve ter um comprimento maior que a estrutura do outro lado. Por isso, o prédio se entorta para o lado indicado.

15. $\alpha_{REC} = 33 \times 10^{-6}$ °C^{-1}

Seção Enem

01. D 02. C 03. E

FÍSICA

MÓDULO 02 FRENTE B

Propagação de calor

Todo corpo possui uma energia interna molecular. Além disso, um corpo pode apresentar energias externas, tais como a energia cinética ou a energia potencial gravitacional. A energia de um sistema pode aumentar ou diminuir por meio da transferência de calor e / ou da realização de trabalho. Por exemplo, você pode aquecer suas mãos e aumentar a energia interna delas esfregando-as uma na outra, ou, ainda, colocando-as debaixo da corrente de água quente que sai de um chuveiro. No primeiro caso, as mãos se aquecem devido ao trabalho realizado pela força de atrito. No outro caso, o aquecimento das mãos se deve à transferência de calor da água quente para as mãos.

Neste módulo, vamos iniciar o estudo sobre o calor, definindo-o e discutindo os três modos pelo qual ele pode se propagar: a condução, a convecção e a radiação. Para cada uma dessas formas de propagação do calor, nós analisaremos o conceito físico envolvido no respectivo processo; também aprenderemos a calcular a quantidade de calor trocada entre sistemas. Ao longo deste estudo, apresentaremos vários exemplos do dia a dia relacionados à propagação do calor, muitos deles envolvendo, combinadamente, duas ou mesmo as três formas de propagação do calor.

CONCEITO DE CALOR E OS MODOS DE PROPAGAÇÃO

O calor é uma forma de energia em trânsito que se manifesta devido a uma diferença de temperatura no espaço. Podemos citar inúmeros exemplos relacionados à propagação do calor. O café em uma xícara se resfria ao ar livre porque a bebida, estando a uma temperatura mais elevada que a do ambiente a seu redor, cede calor para o ar ambiente e para a própria xícara. Uma pessoa transfere calor para o ar próximo à sua pele porque seu corpo está mais quente que o ambiente. Por sua vez, essa pessoa se aquece diante de uma lareira porque as chamas apresentam uma temperatura muito maior que a de seu corpo. Em todos esses exemplos, a quantidade de calor cedida pelo corpo ou sistema à temperatura mais alta é igual à quantidade de calor recebida pelo corpo à temperatura mais baixa.

Agora, observe a figura 1. Ela ilustra várias transferências de calor. A chama da lenha em combustão acha-se a uma temperatura muito alta. Por isso, ela transfere calor para a bancada de ferro onde se apoiam as duas vasilhas. A propagação do calor entre a chama e a bancada ocorre principalmente por meio da luz emitida pela chama. Esse modo de propagação do calor é chamado de radiação térmica. Muitas vezes, a radiação térmica ocorre por meio de emissões invisíveis, como a radiação infravermelha emitida pelas paredes de um forno. Naturalmente, a bancada de ferro está mais quente do que o bule e a frigideira. A bancada transfere calor para esses corpos por meio de um processo conhecido como condução térmica. Esse modo de transferência de calor ocorre tipicamente nos meios sólidos, mas também pode se manifestar em líquidos e gases. Outro exemplo de condução térmica, presente nessa figura, é a transferência de calor da frigideira para a mão da pessoa através do cabo da vasilha. Por último, o calor se propaga no café dentro do bule por meio de um modo de transferência de calor conhecido como convecção térmica. A convecção envolve o movimento do meio e, por isso, ocorre apenas nos fluidos. O ar sobre a chama e o ar sobre a bancada de ferro também se aquecem por convecção térmica.

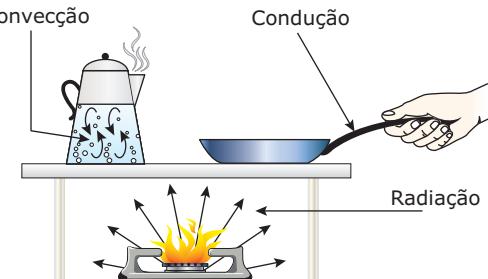



Figura 1: Modos de propagação do calor.

A seguir, vamos estudar, mais detalhadamente, cada um dos três modos de propagação do calor.

CONDUÇÃO TÉRMICA

A condução e a difusão da energia

A transferência de calor por condução está associada às atividades atômicas ou moleculares da matéria. A figura 2 mostra, esquematicamente, as moléculas de um gás confinado em um espaço onde existe o perfil de temperatura, ao longo do eixo x, indicado no gráfico à esquerda do gás. Se a largura do espaço (L) for suficientemente pequena, não haverá movimento global (macroscópico) de massas, e a transferência de calor ocorrerá apenas por condução.

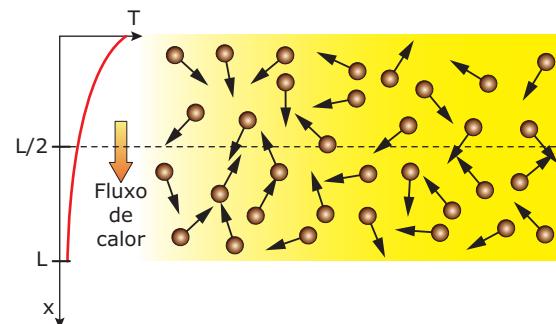



Figura 2: A condução de calor e a difusão da energia molecular.

Como a temperatura do gás diminui de cima para baixo, as moléculas do gás situadas acima do plano de abscissa x = L/2 apresentam velocidades médias maiores que as moléculas na parte de baixo. Ainda que algumas moléculas possam atravessar o plano de baixo para cima durante um intervalo de tempo Δt, o número de moléculas que faz o caminho inverso, nesse mesmo intervalo de tempo, é maior. O resultado é que a transferência líquida de moléculas mais energéticas ocorre no sentido positivo do eixo x. Essa transferência de energia é semelhante à difusão de massa que ocorre entre duas soluções de concentrações diferentes, separadas por uma membrana permeável. Por isso, a transferência de calor por condução é interpretada como uma difusão de energia gerada pelo movimento molecular aleatório.

Nos líquidos, as moléculas estão mais próximas do que nos gases, e as interações moleculares são mais fortes e frequentes. Mesmo assim, a condução de calor nos líquidos ocorre de maneira semelhante à dos gases. Nos sólidos, todas as moléculas se acham ligadas (rede cristalina). A condução de calor se manifesta através de ondas de vibração (fônons), que se propagam das partes mais quentes, onde a vibração molecular é mais intensa, em direção às partes mais frias. Nos metais, a taxa de difusão da energia molecular é aumentada expressivamente devido à presença de elétrons livres, pois essas partículas podem sofrer grandes translações. Por isso, em geral, bons condutores de eletricidade são também bons condutores de calor. Nos metais, a contribuição dos deslocamentos dos elétrons livres predomina sobre a contribuição dos fônons, enquanto, nos materiais maus condutores de calor, como a borracha e a madeira, a contribuição dos fônons é a parcela dominante.

A LEI DE FOURIER

Agora, vamos apresentar a Lei de Fourier para calcular a quantidade de calor transferida por condução térmica ao longo de um corpo. Para isso, considere a figura 3, que mostra uma barra feita de um material homogêneo exposta a uma diferença de temperatura entre suas extremidades. A barra é isolada lateralmente, de maneira que o fluxo de calor ocorre apenas ao longo do comprimento. A temperatura na face esquerda, T_1, é maior que a temperatura T_2 da outra face. Por isso, o fluxo de calor ocorre da esquerda para a direita, conforme está indicado na figura.

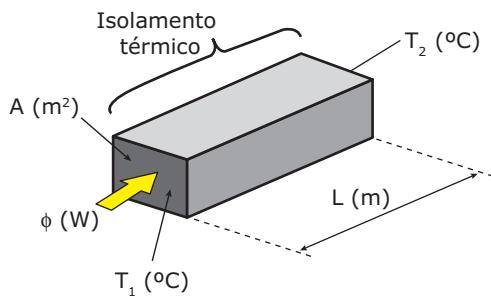



Figura 3: A condução de calor unidirecional ao longo de uma barra isolada lateralmente.

Para condições de fluxo de calor em regime estacionário, o perfil de temperaturas ao longo da barra é constante no tempo. Nesse caso, a taxa de transferência de calor ϕ também é constante no tempo e pode ser calculada através da seguinte equação (a Lei de Fourier):

$$\phi = KA\frac{\Delta T}{L}$$

Nessa expressão, ϕ representa a quantidade de energia calorífica através da barra por unidade de tempo. No Sistema Internacional, ϕ é dado em joules/segundo (watt). A geometria da barra é definida por A e L, que são a área da seção transversal e o comprimento da barra. O termo ΔT é a diferença de temperatura ($T_1 - T_2$) geradora do fluxo de calor. O parâmetro K é a condutividade térmica, uma propriedade física que depende do material da barra. Bons condutores, como os metais em geral, possuem alta condutividade térmica, e bons isolantes de calor são fabricados com materiais de baixa condutividade térmica. Por exemplo, a condutividade térmica do alumínio, a 300 K, vale 293 W/(m.ºC), enquanto a condutividade térmica do papel comum, nessa temperatura, vale 0,18 W/(m.ºC). Assim, uma folha de papel tem um poder de isolamento térmico 1 630 vezes maior que uma folha de alumínio de mesma espessura.

A figura 4 apresenta a condutividade térmica de várias substâncias e estados da matéria em temperaturas e pressões normais. Os gases, em geral, não são bons condutores, apresentando valores baixos de condutividade térmica. É por isso que um edredom (cobertor feito de tecido sintético, entremeado de ar) é um excelente isolante térmico. Os metais sólidos apresentam elevada condutividade térmica e são bons condutores de calor. Por isso, você sente mais frio ao tocar um martelo de ferro do que o seu cabo de madeira, mesmo quando estão, ambos, à temperatura ambiente.

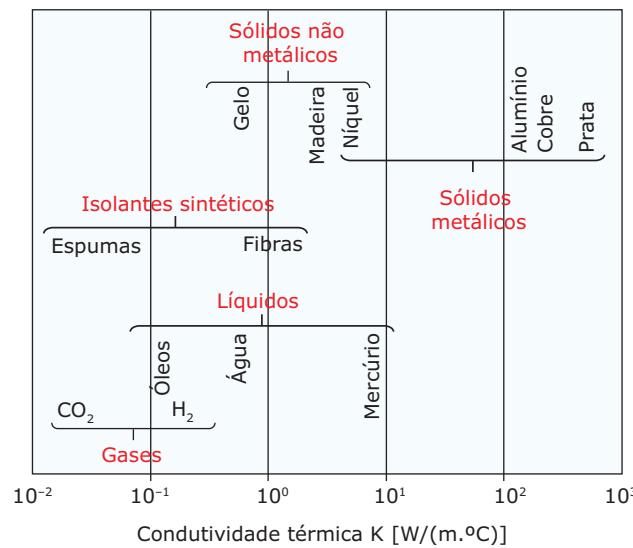
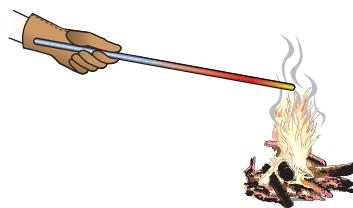



Figura 4: Condutividade térmica de substâncias a temperaturas e pressões normais.

PARA REFLETIR

Por que a serragem é um melhor isolante que a própria madeira?

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Uma pessoa segura uma barra de ferro, de comprimento 50 cm e área da seção transversal de $1,0 \times 10^{-4}$ m^2, mantendo uma ponta no fogo, conforme mostrado na figura a seguir. A condutividade térmica do ferro vale 60 W/(m.ºC).

A) Explicar por que a ponta da barra exposta ao fogo não se acha à temperatura da chama.

B) Considerando que a ponta exposta ao fogo está a 400 ºC, e a outra, a 150 ºC, estimar a taxa de transferência de calor ao longo da barra.

C) Explicar por que a pessoa não se queima ao segurar a barra.

Resolução:

A) A chama transfere calor por radiação para a barra, principalmente para a ponta exposta ao fogo. Para o fluxo de calor ocorrer nesse sentido, a temperatura da chama deve ser maior que a temperatura da ponta aquecida pelo fogo. Logo, a ponta da barra não pode estar à mesma temperatura da chama.

B) Desprezando as perdas de calor nas laterais da barra, e admitindo que a barra apresente um perfil estacionário de temperatura, podemos usar a Lei de Fourier para calcular a taxa de transferência de calor ao longo do comprimento da barra.

$$\phi = K A \frac{\Delta T}{L} = 60.1,0 \times 10^{-4}.\frac{400 - 150}{0,50}$$

$$\phi = 3,0 \text{ W}$$

C) Apesar de a temperatura da ponta da barra ser de 150 ºC, a pessoa consegue segurar nessa ponta porque ela está usando luvas feitas de um material isolante de calor. Como a condutividade térmica de um isolante é muito pequena, o fluxo de calor através das luvas também é muito pequeno. Logo, a quantidade de calor que chega às mãos da pessoa é pequena, não sendo suficiente para queimá-las.

CONVECÇÃO TÉRMICA

A transferência de calor por convecção ocorre apenas nos fluidos. A convecção está associada a dois mecanismos, um microscópico, relativo à difusão da energia molecular, e o outro macroscópico, envolvendo o movimento global de massas gerado por um perfil de temperaturas e densidades no interior do fluido. Modernamente, é comum usar o termo advecção para o mecanismo de transferência de calor associado ao movimento global, e o termo convecção para a transferência cumulativa envolvendo a difusão e a advecção.

Existem dois tipos básicos de convecção térmica, a convecção natural (ou livre) e a convecção forçada. Na convecção natural, o movimento do fluido é provocado por forças de empuxo causadas por um campo de temperaturas e densidades no fluido. Na convecção forçada, o movimento do fluido é provocado por um agente externo, como um ventilador, uma bomba ou ventos atmosféricos. Quando você está parado, e não há ventos, seu corpo transfere calor para o ar por meio da convecção natural. O ar próximo a seu corpo se aquece, torna-se menos denso, e se eleva, transportando calor cedido por você. Por sua vez, o ar um pouco mais distante move-se para substituir o ar ascendente. Quando você corre, ou há uma brisa forte, seu corpo transfere calor por convecção forçada. Nesse caso, a renovação de ar próximo ao corpo se dá de maneira muito mais rápida, e a transferência de calor ocorre com maior eficiência.

A figura 5 ilustra um exemplo clássico de convecção natural. Uma massa de água dentro de uma panela é aquecida por meio da chama de um fogão. A água logo acima do fundo quente da panela se aquece por condução, apresentando uma temperatura maior e uma densidade menor do que as camadas superiores de água. Menos densa, a água do fundo sobe, trocando de posição com as massas mais densas que se acham na parte superior. Dessa forma, aglomerados com muitas moléculas formam correntes convectivas que circulam na água conforme indicado na figura. Próximo ao fundo da panela, a difusão da energia molecular predomina sobre a advecção. Logo acima do fundo, o mecanismo da advecção é que prevalece.

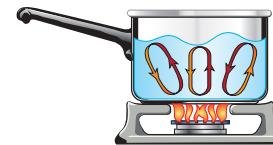



Figura 5: Correntes convectivas no aquecimento de uma massa de água.

No aquecimento convectivo descrito anteriormente, é essencial que a fonte de calor seja posicionada na parte inferior do sistema. Se a água fosse aquecida por cima, as camadas superiores da água é que ficariam mais quentes e menos densas. Assim, elas flutuariam, e o aquecimento da água ocorreria apenas por condução. Como a água possui baixa condutividade térmica, o aquecimento do líquido aconteceria muito lentamente. Por outro lado, para resfriar um fluido, a fonte usada para absorver o calor deve ser posicionada acima do fluido. É por isso que os congeladores de uma geladeira comum situam-se na parte de cima do aparelho. A figura 6 ilustra o movimento de massas de ar dentro de uma pequena geladeira. Lembrando que o ar mais frio apresenta maior densidade, procure entender por que as correntes convectivas apresentam as direções indicadas nessa figura.

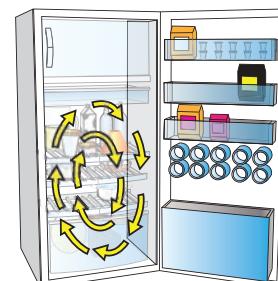



Figura 6: Correntes convectivas no interior de uma geladeira.

FÍSICA

Os ventos são movimentos de massas de ar originárias de correntes convectivas na atmosfera da Terra. Essas correntes ocorrem porque algumas partes da superfície terrestre se aquecem diferentemente de outras. Um exemplo são os ventos de beira-mar. Durante o dia, em geral, a superfície costeira se aquece mais que o mar. Por isso, o ar logo acima do solo se acha mais quente e menos denso do que o ar superior. Sobre o mar, ocorre justamente o contrário. O ar sobre a água fria é mais denso que o ar de camadas superiores da atmosfera. O resultado é que o ar quente próximo ao solo se eleva, enquanto o ar frio próximo ao mar move-se e o substitui, gerando a circulação de ar mostrada na primeira ilustração da figura 7. A outra ilustração mostra as brisas de beira-mar durante a noite. Nesse caso, o mar acha-se mais quente do que a superfície costeira. O ar logo acima do mar sobe, e uma brisa sopra da costa para o mar, fazendo a substituição do ar ascendente.

Figura 7: As brisas de beira-mar são decorrentes do aquecimento desigual do mar e da costa.

RADIAÇÃO TÉRMICA

A radiação e as ondas eletromagnéticas

A figura 8 mostra uma pessoa se aquecendo próximo ao fogo. Como o ar é um gás, sua condutividade térmica é pequena, e a transferência de calor por condução térmica das chamas às mãos da pessoa é desprezível. Tão pouco as mãos se aquecem por convecção, pois o ar quente sobe. As mãos, nesse caso, se aquecem porque elas absorvem parte da radiação emitida pelas chamas. De fato, todos os corpos emitem radiação na forma de ondas eletromagnéticas. Assim, as chamas transmitem radiação para as mãos da pessoa, mas essas também transmitem radiação para as chamas. Como a temperatura das chamas é muito maior que a temperatura das mãos, o fluxo de calor líquido por radiação térmica ocorre das chamas para as mãos.

Figura 8: Propagação do calor por radiação.

As ondas eletromagnéticas podem se propagar em diversos meios, inclusive no vácuo. Assim, enquanto as propagações do calor por condução e por convecção necessitam de um meio material, a propagação do calor por radiação manifesta-se também no vácuo. Na verdade, não havendo a presença de matéria para absorver a energia da onda eletromagnética, a transferência de calor por radiação ocorre com mais eficiência justamente no espaço vazio.

Existem vários tipos de ondas eletromagnéticas, diferenciando-se pela frequência de oscilação da onda. Qualquer corpo emite ondas eletromagnéticas em uma infinidade de frequências. Porém, de acordo com a temperatura, a radiação ocorre predominantemente em certa faixa de frequência, conforme indicado na figura 9. Por exemplo, o Sol, cuja superfície acha-se aproximadamente a 6 000 K, transmite calor para a Terra por meio de ondas eletromagnéticas predominantemente na faixa da luz visível, enquanto as paredes do forno de um fogão, à temperatura de 500 K, assam os alimentos, predominantemente, por meio de radiação infravermelha, também conhecida como radiação térmica ou onda de calor.

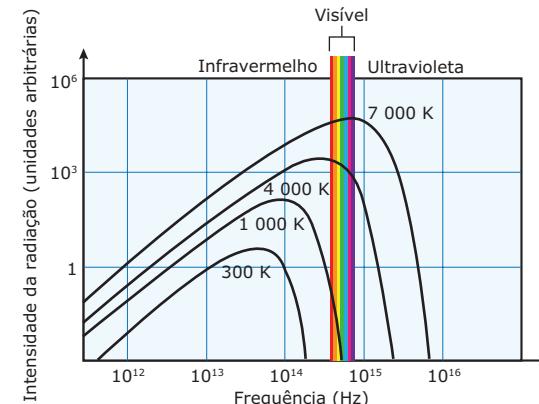



Figura 9: Curvas de radiação para diferentes temperaturas.

A Lei de Stefan-Boltzmann e as propriedades radiantes da matéria

Uma superfície emissora ideal de radiação é chamada de corpo negro, cuja taxa de emissão de radiação eletromagnética é dada por:

$$\phi_n = \sigma A T^4$$

Nessa equação, ϕ_n é a quantidade de radiação emitida pelo corpo negro por unidade de tempo. No Sistema Internacional, ϕ_n é dado em watt, o fator σ é a constante de Stefan-Boltzmann, que vale $5{,}67 \times 10^{-8}$ W/m²K⁴, A é a área da superfície emissora em m², e T é a temperatura absoluta da superfície, em Kelvin (K). A taxa de radiação emitida por uma superfície real é menor que aquela emitida por um corpo negro à mesma temperatura, sendo dada por:

$$\phi_n = \varepsilon\sigma A T^4$$

O parâmetro ε é uma propriedade radiante da superfície, conhecida como emissividade. A faixa de variação da emissividade é $0 \leq \varepsilon \leq 1$. Para um corpo negro, $\varepsilon = 1$, e para os corpos reais, $\varepsilon < 1$. A emissividade é uma propriedade da matéria que indica a eficiência com a qual uma superfície real emite radiação em comparação ao corpo negro. Por exemplo, uma superfície com $\varepsilon = 0{,}85$ emite 85% da energia que um corpo negro emitiria à mesma temperatura. A emissividade depende do material da superfície, de seu acabamento e de sua temperatura. A emissividade aumenta com a temperatura e diminui com o grau de polimento. Cobre oxidado à temperatura de 1 000 K apresenta $\varepsilon \approx 0{,}80$. Para o cobre altamente polido e à temperatura de 1 000 K, $\varepsilon \approx 0{,}05$.

Você pode usar a Lei de Stefan-Boltzmann para estimar a temperatura de uma superfície quente. Considere, por exemplo, uma lâmpada incandescente de 100 W com um filamento de tungstênio, cuja área da superfície é igual a $1{,}0 \times 10^{-4}$ m². Como existe um bom vácuo no bulbo da lâmpada, as trocas de calor por convecção e por condução são desprezíveis. Além disso, a temperatura do filamento é muito maior que a temperatura dos objetos em sua volta, de maneira que a radiação proveniente da vizinhança é desprezível. Assim, a taxa de transferência líquida de calor no filamento é praticamente igual à própria taxa de radiação emitida. Tratando o filamento como um emissor ideal ($\varepsilon = 1$), e substituindo os valores adequados na Lei de Stefan-Boltzmann, obtemos a temperatura de 2×10^3 K. Na verdade, como $\varepsilon < 1$, a temperatura real do filamento é maior que o valor estimado.

Além da emissividade, a matéria possui outras três propriedades radiantes importantes, que são a absortividade (α), a refletividade (ρ) e a transmissividade (τ). A faixa de valores dessas propriedades varia de zero a um, e elas indicam a porcentagem da radiação incidente que é absorvida, refletida e transmitida por um corpo. Por isso, $\alpha + \rho + \tau = 1$. A figura 10 apresenta valores típicos para a absorção, a reflexão e a transmissão de uma radiação incidente sobre uma placa de vidro.

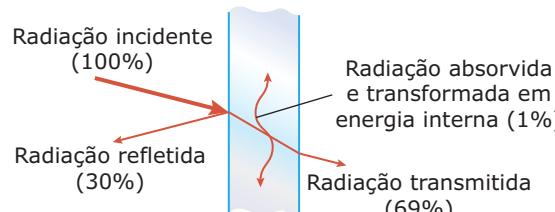



Figura 10: Repartição da radiação incidente em uma placa de vidro.

As propriedades radiantes de uma superfície dependem do material de que ela é feita, de sua cor, de seu acabamento e até de sua temperatura. Em geral, os gases são transparentes a todas as radiações ($\alpha = 0$ e $\rho + \tau = 1$). A transmissividade de alguns sólidos depende do ângulo de incidência da radiação. Quando um raio de luz visível incide perpendicularmente sobre uma placa de vidro, a radiação refletida é pequena, e quase toda a radiação é transmitida através da placa. Ao contrário, para uma incidência rasante, quase toda radiação é refletida, e muito pouca radiação atravessa a placa.

Corpos escuros apresentam alta absortividade. Você pode fazer uma experiência muito simples para confirmar isso. Usando uma lupa, concentre os raios solares sobre uma folha de jornal. Você perceberá que, se a luz for concentrada sobre as letras de uma manchete (em tinta negra), a folha se queimará muito mais rapidamente em comparação à incidência de luz sobre uma parte clara do jornal.

As placas e os tubos com água de um coletor solar são pintados de preto fosco porque, nesse caso, a absorção da radiação solar é muito maior do que aquela que aconteceria caso os tubos não fossem pintados.

As propriedades radiantes também dependem da natureza da radiação, variando, portanto, com a frequência da onda eletromagnética. Uma superfície quente pode ser um ótimo emissor de radiação visível. Porém, a temperaturas menores, essa superfície pode passar a emitir radiação infravermelha com alta eficiência. O vidro e o dióxido de carbono apresentam elevada transmissividade à luz visível, mas baixa transmissividade e alta refletividade para a radiação infravermelha. Essa diferença de comportamento explica um fenômeno conhecido como efeito estufa, que será discutido no próximo tópico.

Para o mesmo tipo de onda eletromagnética, muitos corpos apresentam $\alpha = \varepsilon$ (corpo cinza). Um caso muito comum ocorre quando uma pequena superfície à temperatura T_{sup} é envolvida completamente por uma vizinhança isotérmica à temperatura T_{viz}. Se as temperaturas T_{sup} e T_{viz} não são muito diferentes, como ocorre, por exemplo, com uma *pizza* dentro de um forno, as radiações emitidas pela superfície e por sua vizinhança são de mesma natureza, e, assim, a superfície pode ser considerada um corpo cinza ($\alpha = \varepsilon$) e a vizinhança, um corpo negro ($\varepsilon = 1$). Nesse caso, a troca líquida de radiação na superfície é dada por:

$$\phi = \varepsilon\sigma A(T^4_{viz} - T^4_{sup})$$

Para exemplificar o uso dessa equação, considere uma pequena *pizza* de área $1{,}0 \times 10^{-2}$ m² dentro de um forno, cujas paredes estão à temperatura de 187 ºC (460 K). Se a *pizza* estiver a 57 ºC (330 K), e a sua emissividade for de 80%, então a taxa líquida de radiação que a *pizza* recebe vale:

$$\phi = 0{,}80 . 5{,}7 \times 10^{-8} . 1{,}0 \times 10^{-2} . (460^4 - 330^4) = 15 \text{ W}$$

BALANÇOS DE ENERGIA E EFEITOS COMBINADOS

A energia interna de um corpo é insensível às radiações refletidas e transmitidas pelo corpo. Contudo, a energia interna tende a aumentar quando o corpo absorve radiação e a diminuir quando o corpo emite radiação. Obviamente, para a energia interna de um corpo não variar, a quantidade de energia recebida deve ser igual à energia cedida. Além da radiação emitida e absorvida, um corpo também pode trocar calor com a vizinhança por meio da convecção e da condução térmica. A seguir, discutiremos dois sistemas em que o equilíbrio térmico é o resultado do balanço de energia envolvendo dois ou três modos de trocas de calor.

O primeiro sistema que vamos analisar é a estufa mostrada na figura 11. O vidro é transparente à luz visível, de modo que a maior parte da radiação solar penetra na estufa e é absorvida pelo solo e pelas plantas. Aquecidos, esses corpos emitem radiação infravermelha. O vidro, que não é transparente a essa radiação, absorve e reflete a radiação, reforçando o aquecimento da estufa. Outra função do vidro é impedir que o ar morno se eleve, transportando calor por convecção para o exterior. A estufa atinge um estado de equilíbrio térmico quando a quantidade de energia solar absorvida pelo interior da estufa é igual à energia liberada pelos vidros aquecidos através da emissão de radiação infravermelha e da transferência de calor por convecção.

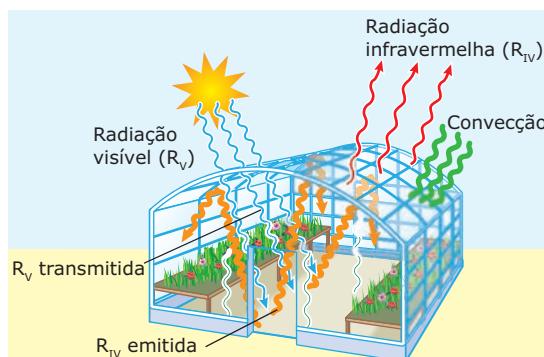



Figura 11: Mecanismos de aquecimento em uma estufa de vidro.

O mecanismo de aquecimento da Terra é semelhante ao de uma estufa. Vapor de água, dióxido de carbono e metano são os principais gases estufa na atmosfera. Devido às emissões industriais, a concentração de dióxido de carbono está aumentando, de forma que grande parte da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre é absorvida e refletida pela atmosfera. Um novo estado de equilíbrio deverá ocorrer, mas com a temperatura do planeta podendo atingir um valor muito alto, de forma a causar o derretimento de geleiras e a elevação do nível dos oceanos.

O outro exemplo que vamos analisar é a garrafa térmica mostrada na figura 12. Nesse caso, o sistema não se acha em equilíbrio térmico, pois o café quente da garrafa sofre um resfriamento lento. Uma garrafa térmica é um reservatório de vidro duplo espelhado e com vácuo entre eles. O vácuo dentro da garrafa, que não é perfeito, dificulta a transferência de calor por condução e por convecção. A parede interna reflete grande parte da radiação infravermelha emitida pelo café, minimizando as perdas de energia. A parede externa reflete a radiação emitida pela parede aquecida, por condução, pelo café. Por fim, a função da tampa é evitar que o ar sobre o café se eleve, transferindo calor por convecção. Sendo feita de um material isolante, a tampa também dificulta a transferência de calor por condução.

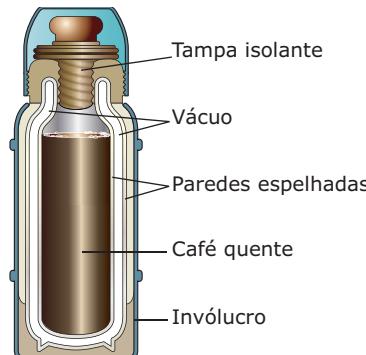
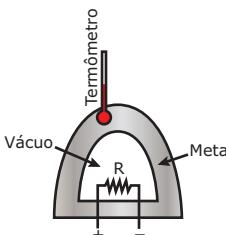



Figura 12: Mecanismos de transferência de calor em uma garrafa térmica.

PARA REFLETIR

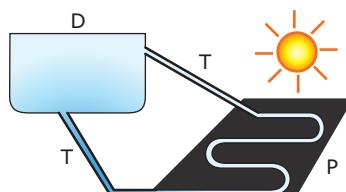
Você enxerga um bolo assando através da janela de vidro de um forno. Por que essa janela não diminui a eficiência do forno, deixando vazar a radiação emitida pelas paredes aquecidas?

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (Mackenzie-SP) Numa noite de inverno, o dormitório de Serginho apresentava uma temperatura ambiente de 10 ºC. Para não sentir frio durante a madrugada, ele esticou sobre a cama três cobertores de lã bem espessos e aguardou alguns minutos. Em seguida, deitou-se e percebeu que a cama continuava muito fria. Após certo tempo na cama, bem coberto, sentiu que o "frio passou" e que a cama estava quente. Tal fato explica-se, pois

A) o frio não existe e a sensação de Serginho era apenas psicológica.
B) os cobertores não são aquecedores, mas isolantes térmicos. Depois de Serginho deitar-se, seu corpo aqueceu a cama.
C) a cama provavelmente não tinha lençóis de lã e, então, o calor produzido pelos cobertores foi perdido para o ambiente. Quando Serginho se deitou, interrompeu esse processo.
D) os cobertores de lã provavelmente eram de cor clara e, por isso, demoraram muito para aquecer a cama. Após Serginho ter-se deitado, foi necessário mais algum tempo para que a cama ficasse quente.
E) a lã utilizada para a confecção dos cobertores é um aquecedor natural muito lento e a temperatura de Serginho, de aproximadamente 37 ºC, não era suficiente para aquecer a cama.

02. (CEFET-MG–2007) As modernas panelas de aço inox possuem cabos desse mesmo material, que é um ________ condutor de calor. Eles não queimam as mãos das pessoas, porque possuem um formato vazado, facilitando a troca de calor por ________ do ar através deles.

A alternativa que completa, **CORRETA** e respectivamente, as lacunas é

A) mau / irradiação.
B) bom / irradiação.
C) bom / convecção.
D) mau / convecção.

03. (UFV-MG) Um resistor R é colocado dentro de um recipiente de parede metálica, no qual é feito vácuo e que possui um termômetro incrustado em sua parede externa. Para ligar o resistor a uma fonte externa ao recipiente, foi utilizado um fio com isolamento térmico que impede transferência de calor para as paredes do recipiente. Essa situação encontra-se ilustrada na figura a seguir.

Ligando o resistor, nota-se que a temperatura indicada pelo termômetro aumenta, mostrando que há transferência de calor entre o resistor e o termômetro. Pode-se afirmar que os processos responsáveis por essa transferência de calor, na ordem **CORRETA**, são

A) primeiro convecção e depois radiação.
B) primeiro convecção e depois condução.
C) primeiro radiação e depois convecção.
D) primeiro radiação e depois condução.
E) primeiro condução e depois convecção.

04. (FUVEST-SP) A figura ilustra um sistema de aquecimento solar: uma placa metálica P, pintada de preto, e, em contato com ela, um tubo metálico encurvado; um depósito de água D e tubos de borracha T ligando o depósito ao tubo metálico. O aquecimento da água contida no depósito D, pela absorção de energia solar, é devido, basicamente, aos seguintes fenômenos, pela ordem:

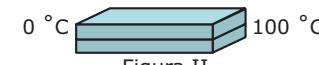
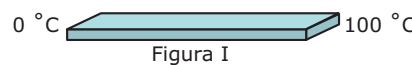
A) condução, irradiação, convecção.
B) irradiação, condução, convecção.
C) convecção, condução, irradiação.
D) condução, convecção, irradiação.
E) irradiação, convecção, condução.

05. (UFPE–2006 / Adaptado) Deseja-se isolar termicamente uma sala, de modo que as paredes devem permitir uma transmissão máxima de calor, por unidade de área, de 10 W/m². Sabendo-se que o interior da sala é mantido à temperatura de 20 ºC e o exterior atinge uma temperatura máxima de 35 ºC, **CALCULE** a espessura mínima de lã, em centímetros, que deve ser usada nas paredes. O coeficiente de condutividade térmica da lã é K = 0,04 W/mºC. Considere que as temperaturas nas faces da parede sejam iguais às dos respectivos ambientes e que a condutividade efetiva da parede seja igual à da lã.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (UFTM-MG–2010) A respeito dos processos de transmissão de calor, considere:

I. Na convecção, o calor é transferido de um lugar para outro tendo como agentes os próprios fluidos;
II. Na condução, ocorre a transferência de energia cinética entre as partículas;
III. Na irradiação, o calor é transmitido sob a forma de ondas eletromagnéticas.

É **CORRETO** o contido em

A) I, apenas.
B) II, apenas.
C) I e II, apenas.
D) II e III, apenas.
E) I, II e III.

02. (PUC Minas–2010) Ainda nos dias atuais, povos que vivem no deserto usam roupas de lã branca como parte de seu vestuário para se protegerem do intenso calor, já que a temperatura ambiente pode chegar a 50 ºC durante o dia. Para nós, brasileiros, que utilizamos a lã principalmente no inverno, a atitude dos povos do deserto pode parecer estranha ou equivocada, contudo ela pode ser explicada pelo fato de que

A) a lã é um excelente isolante térmico, impedindo que o calor externo chegue aos corpos das pessoas, e a cor branca absorve toda a luz, evitando que ela aqueça ainda mais as pessoas.
B) a lã é naturalmente quente e, num ambiente a 50 ºC, ela contribui para resfriar um pouco os corpos das pessoas.
C) a lã é um excelente isolante térmico, impedindo que o calor externo chegue aos corpos das pessoas, e a cor branca reflete toda a luz, diminuindo assim o aquecimento da própria lã.
D) a lã é naturalmente quente, e o branco é uma "cor fria." Esses fatos combinados contribuem para o resfriamento dos corpos daquelas pessoas.

03. (UESC-BA–2007) Uma parede de concreto com 9,0 m² de área e 10,0 cm de espessura tem coeficiente de condutibilidade térmica K = 2,0 x 10^{-3} cal/(s.cm.ºC). Sabendo-se que, em um determinado momento, a diferença de temperatura entre suas faces é de 5,0 ºC, a quantidade de calor que flui, no regime estacionário, através da parede durante 10,0 minutos, em calorias, é

A) 5,4.
B) 54.
C) 540.
D) 5 400.
E) 54 000.

04. (Mackenzie-SP) A figura I mostra uma barra metálica de secção transversal retangular. Suponha que 10 calorias fluam em regime estacionário através da barra, de um extremo para outro, em 2 minutos. Em seguida, a barra é cortada ao meio no sentido transversal, e os dois pedaços são soldados, como representa a figura II.

Figura I

Figura II

O tempo necessário para que 10 calorias fluam entre os extremos da barra assim formada é

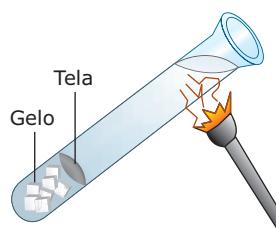
A) 4 minutos.
B) 3 minutos.
C) 2 minutos.
D) 1 minuto.
E) 0,5 minuto.

05. (CEFET-MG) Analise as situações a seguir descritas, considerando-se o processo de transferência de calor relacionado a cada uma delas:

I. Um legume se aquece ao ser colocado dentro de uma panela com água fervente.
I. O congelador, localizado na parte superior de uma geladeira, resfria todo o interior da mesma.
III. Os componentes eletrônicos de aparelhos, em funcionamento, de uma estação espacial, transmitem calor para o espaço.

As situações I, II e III correspondem, respectivamente, aos processos de

A) condução, convecção e condução.
B) convecção, radiação e convecção.
C) condução, convecção e radiação.
D) radiação, condução e radiação.

FÍSICA

06. (PUC-SP) Analise as afirmações referentes à condução térmica:

I. Para que um pedaço de carne cozinhe mais rapidamente, pode-se introduzir nele um espeto metálico. Isso se justifica pelo fato de o metal ser um bom condutor de calor.

II. Os agasalhos de lã dificultam a perda de energia (na forma de calor) do corpo humano para o ambiente, devido ao fato de o ar aprisionado entre suas fibras ser um bom isolante térmico.

III. Devido à condução térmica, uma barra de metal mantém-se a uma temperatura inferior à de uma barra de madeira colocada no mesmo ambiente.

Podemos afirmar que

A) I, II e III estão corretas.
B) I, II e III estão erradas.
C) apenas I está correta.
D) apenas II está correta.
E) apenas I e II estão corretas.

07. (UFMG) Em uma experiência, colocam-se gelo e água em um tubo de ensaio, sendo o gelo mantido no fundo por uma tela de metal. O tubo de ensaio é aquecido conforme a figura. Embora a água ferva, o gelo não se funde imediatamente. As afirmações a seguir referem-se a essa situação:

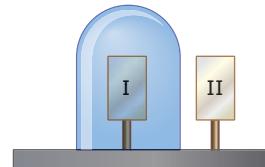
I. Um dos fatores que contribuem para que o gelo não se funda é o de que a água quente é menos densa que a água fria.

II. Um dos fatores que concorrem para a situação observada é o de que o vidro é bom isolante térmico.

III. Um dos fatores que concorrem para que o gelo não se funda é o de que a água é bom isolante térmico.

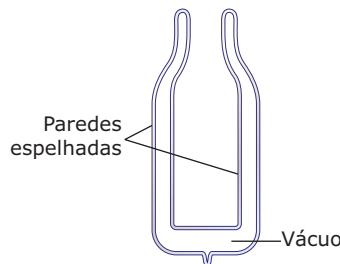
A) Apenas a afirmativa I é verdadeira.
B) Apenas a afirmativa II é verdadeira.
C) Apenas a afirmativa III é verdadeira.
D) Todas as afirmativas são corretas.
E) N.d.a.

08. (UFMT–2006) Após fazer um bolo, um cozinheiro coloca um cobertor sobre o bolo para que não esfrie. Do ponto de vista da Física, pode-se explicar a atitude do cozinheiro da seguinte forma:

A) O cobertor tem a propriedade de aquecer os corpos que estão por ele cobertos.
B) Há transmissão de calor do cobertor para o bolo, de forma a mantê-lo aquecido.
C) A temperatura é transmitida do cobertor para o bolo, mantendo-o aquecido.
D) A forma predominante de transmissão, nesse caso, é a irradiação de calor pelo cobertor.
E) O cobertor dificulta a transmissão de calor do bolo ao meio ambiente.

09. (UFV-MG–2009) É comum termos sensações diferentes, de quente e frio, quando tocamos com a mão objetos em equilíbrio térmico entre si, dentro de uma sala. Em relação à afirmativa anterior, é **CORRETO** dizer que

A) é falsa, pois a quantidade de calor trocada entre cada um dos objetos e a mão é diferente já que, nesse caso, os objetos se encontram a temperaturas diferentes.
B) é falsa, pois se um objeto parece mais quente em relação ao outro, então eles não estão em equilíbrio térmico.
C) é verdadeira, pois a quantidade de calor trocada entre cada um dos objetos e a mão pode ser diferente se os dois objetos tiverem condutividades térmicas diferentes.
D) é verdadeira, pois a quantidade de calor trocada entre cada um dos objetos e a mão é sempre igual se eles estiverem em equilíbrio térmico.

10. (UFLA-MG) Numa sala de aula, à temperatura de 27 ºC (T_0 = 300 K), estão acomodados 30 estudantes. Cada estudante apresenta a temperatura 37 ºC (T = 310 K) e possui uma área efetiva de irradiação de 1,5 m^2. A lei de Stefan-Boltzmann trata do poder emissivo dos corpos e diz que a potência líquida irradiada por estudante pode ser escrita por: $P_e = \tau.A.4T_0^3.\Delta T$, em que τ é uma constante de proporcionalidade igual a 6 x 10^{-8} W/m^{2}K^4; A é a área efetiva de irradiação em m^2; T_0, a temperatura absoluta da sala e ΔT, a diferença entre a temperatura absoluta da sala e do estudante. Então, a potência líquida total irradiada pelos estudantes nessa sala é de, aproximadamente,

A) 2,9 kW.
B) 29 kW.
C) 0,1 kW.
D) 1,0 kW.
E) 10 kW.

11. (UNESP-SP–2008) Um corpo I é colocado dentro de uma campânula de vidro transparente evacuada. Do lado externo, em ambiente à pressão atmosférica, um corpo II é colocado próximo à campânula, mas não em contato com ela, como mostra a figura.

As temperaturas dos corpos são diferentes, e os pinos que os sustentam são isolantes térmicos. Considere as formas de transferência de calor entre esses corpos e aponte a alternativa **CORRETA**.

A) Não há troca de calor entre os corpos I e II porque não estão em contato entre si.
B) Não há troca de calor entre os corpos I e II porque o ambiente no interior da campânula está evacuado.
C) Não há troca de calor entre os corpos I e II porque suas temperaturas são diferentes.
D) Há troca de calor entre os corpos I e II e a transferência se dá por convecção.
E) Há troca de calor entre os corpos I e II e a transferência se dá por meio de radiação eletromagnética.

12. (UFMG) Uma garrafa térmica, do tipo das usadas para manter café quente, consiste em um recipiente de vidro de parede dupla com vácuo entre as paredes. Essas paredes são espelhadas. O vácuo e as paredes espelhadas são usados para dificultar a transmissão de calor, estando relacionados com uma ou mais formas de transmissão.

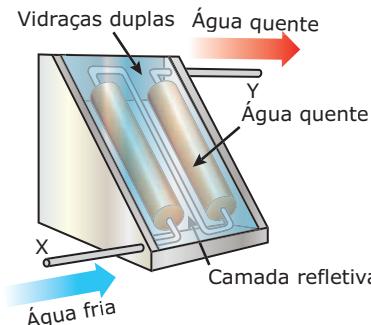
Assinale a alternativa que relaciona **CORRETAMENTE** as características da garrafa térmica com as formas de transmissão de calor que essas características tentam impedir.

A) Parede espelhada: condução
Vácuo: radiação

B) Parede espelhada: condução
Vácuo: radiação e convecção

C) Parede espelhada: radiação
Vácuo: condução e convecção

D) Parede espelhada: radiação
Vácuo: radiação, condução e convecção

13. (UFRN–2008) O efeito estufa, processo natural de aquecimento da atmosfera, é essencial para a existência de vida na Terra. Em tal processo, uma parcela da radiação solar refletida e da radiação térmica emitida pela superfície terrestre interage com determinados gases presentes na atmosfera, aquecendo-a. O principal mecanismo físico responsável pelo aquecimento da atmosfera devido à ação do efeito estufa resulta da

A) absorção, por certos gases da atmosfera, de parte da radiação ultravioleta recebida pela Terra.

B) reflexão, por certos gases da atmosfera, da radiação visível emitida pela Terra.

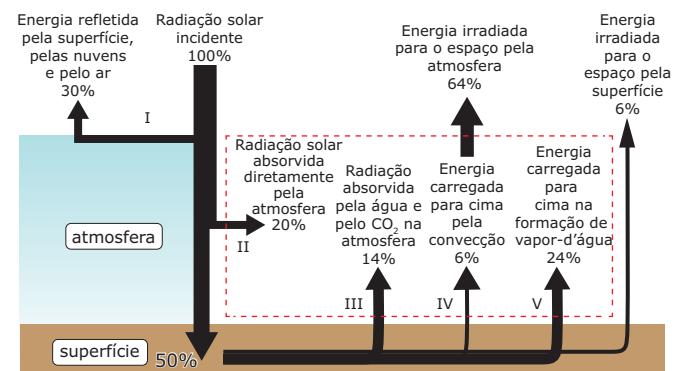
C) absorção, por certos gases da atmosfera, de parte da radiação infravermelha proveniente da superfície da Terra.

D) reflexão, por certos gases da atmosfera, de parte da radiação de micro-ondas recebida pela Terra.

14. (FUVEST-SP) Sabe-se que a temperatura do café se mantém razoavelmente constante no interior de uma garrafa térmica perfeitamente vedada.

A) Qual é o principal fenômeno responsável por esse bom isolamento térmico?

B) O que acontece com a temperatura do café se a garrafa térmica for agitada vigorosamente? **JUSTIFIQUE** sua resposta.

SEÇÃO ENEM

01. (Enem–2007) O uso mais popular de energia solar está associado ao fornecimento de água quente para fins domésticos. Na figura a seguir, é ilustrado um aquecedor de água constituído de dois tanques pretos dentro de uma caixa termicamente isolada e com cobertura de vidro, os quais absorvem energia solar.

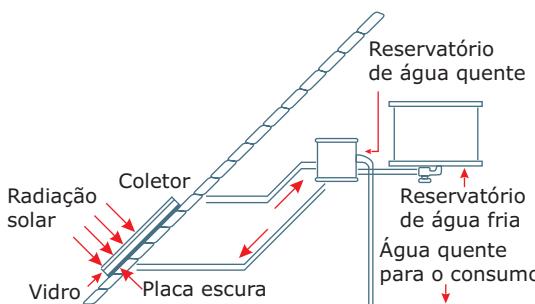
Nesse sistema de aquecimento,

A) os tanques, por serem de cor preta, são maus absorvedores de calor e reduzem as perdas de energia.

B) a cobertura de vidro deixa passar a energia luminosa e reduz a perda de energia térmica utilizada para o aquecimento.

C) a água circula devido à variação de energia luminosa existente entre os pontos X e Y.

D) a camada refletiva tem como função armazenar energia luminosa.

E) o vidro, por ser bom condutor de calor, permite que se mantenha constante a temperatura no interior da caixa.

02. (Enem–2008)

Com base no diagrama anterior, conclui-se que

A) a maior parte da radiação incidente sobre o planeta fica retida na atmosfera.

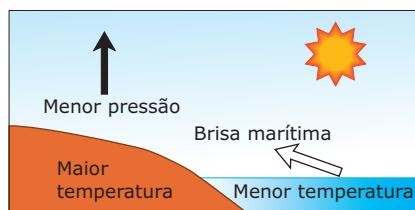
B) a quantidade de energia refletida pelo ar, pelas nuvens e pelo solo é superior à absorvida pela superfície.

C) a atmosfera absorve 70% da radiação solar incidente sobre a Terra.

D) mais da metade da radiação solar que é absorvida diretamente pelo solo é devolvida para a atmosfera.

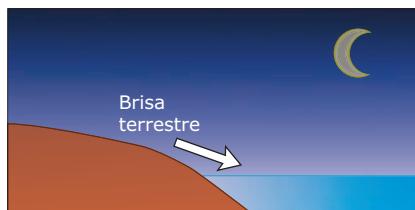
E) a quantidade de radiação emitida para o espaço pela atmosfera é menor que a irradiada para o espaço pela superfície.

03. (Enem) O resultado da conversão direta de energia solar é uma das várias formas de energia alternativa de que se dispõe. O aquecimento solar é obtido por uma placa escura coberta por vidro, pela qual passa um tubo contendo água. A água circula conforme mostra o esquema a seguir.

PALZ, Wolfgang. *Energia solar e fontes alternativas.* Hemus, 1981 (Adaptação).

São feitas as seguintes afirmações quanto aos materiais utilizados no aquecedor solar:

I. O reservatório de água quente deve ser metálico para conduzir melhor o calor.

II. A cobertura de vidro tem como função reter melhor o calor, de forma semelhante ao que ocorre em uma estufa.

III. A placa utilizada é escura para absorver melhor a energia radiante do Sol, aquecendo a água com maior eficiência.

Entre as afirmações anteriores, pode-se dizer que apenas está(ão) correta(s)

A) I.
B) I e II.
C) II.
D) I e III.
E) II e III.

04. (Enem) Numa área de praia, a brisa marítima é uma consequência da diferença no tempo de aquecimento do solo e da água, apesar de ambos estarem submetidos às mesmas condições de irradiação solar. No local (solo) que se aquece mais rapidamente, o ar fica mais quente e sobe, deixando uma área de baixa pressão, provocando o deslocamento do ar da superfície que está mais fria (mar).

À noite, ocorre um processo inverso ao que se verifica durante o dia.

Como a água leva mais tempo para esquentar (de dia), mas também leva mais tempo para esfriar (à noite), o fenômeno noturno (brisa terrestre) pode ser explicado da seguinte maneira:

A) O ar que está sobre a água se aquece mais; ao subir, deixa uma área de baixa pressão, causando um deslocamento de ar do continente para o mar.

B) O ar mais quente desce e se desloca do continente para a água, a qual não conseguiu reter calor durante o dia.

C) O ar que está sobre o mar se esfria e dissolve-se na água; forma-se, assim, um centro de baixa pressão, que atrai o ar quente do continente.

D) O ar que está sobre a água se esfria, criando um centro de alta pressão que atrai massas de ar continental.

E) O ar sobre o solo, mais quente, é deslocado para o mar, equilibrando a baixa temperatura do ar que está sobre o mar.

GABARITO

Fixação

01. B   02. C   03. D   04. B   05. 6 cm

Propostos

01. E
02. C
03. E
04. E
05. C
06. E
07. D
08. E
09. C
10. A
11. E
12. C
13. C
14. A) O espelhamento duplo das paredes dificulta a transferência de calor por radiação; o vácuo entre as paredes dificulta a transferência de calor por condução e convecção; a tampa inibe a transferência de calor por convecção e dificulta a condução de calor.
    B) A energia interna e a temperatura do café aumentam. O café não recebe calor de fora, mas sim trabalho realizado pela pessoa.

Seção Enem

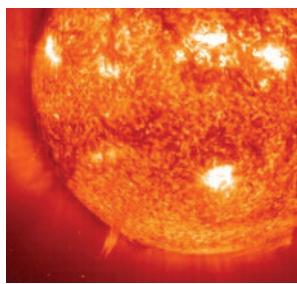
01. B   02. D   03. E   04. A

FÍSICA

MÓDULO 01 FRENTE C

Fundamentos da óptica geométrica

Os cinco sentidos do ser humano permitem que ele perceba o mundo à sua volta. De todos os sentidos, a visão é o que fornece o maior número de informações e é aquele que permite ao homem o maior aprendizado do mundo que o cerca. A Óptica é a parte da Física que explica, entre outras coisas, a visão que temos dos objetos e / ou de suas imagens, seja por observação direta ou através de um instrumento. Isso é motivo suficiente para estudar esse conteúdo fascinante que é a Óptica.

A Óptica pode ser dividida, por questões didáticas, em dois grandes ramos: a Óptica geométrica e a Óptica física. Aqui, vamos tratar da Óptica geométrica, que é a parte da Física que estuda determinados fenômenos luminosos sem a necessidade de se conhecer a natureza física da luz. Por ora, vamos considerar que a luz é uma onda que se propaga pelo espaço, transmitindo energia luminosa de um ponto a outro, e que é capaz de sensibilizar os nossos órgãos de visão. Em nosso estudo da Óptica, não é importante saber como a luz é produzida e nem como ela se desloca através dos meios de propagação.

CONCEITOS INICIAIS

Fontes de luz

Fonte de luz é todo objeto capaz de emitir luz ao espaço que o circunda. Podemos classificar as fontes luminosas com base em diversos critérios, conforme está apresentado a seguir.

1. Quanto à natureza, a fonte luminosa pode ser:

   PRIMÁRIA: aquela que emite luz própria (Sol, lâmpada acesa, vaga-lume, etc.).

www.nasa.gov

SXC

   SECUNDÁRIA: aquela que emite, por reflexão, a luz recebida de fontes primárias (Lua, planetas, parede, folha de papel, etc.).

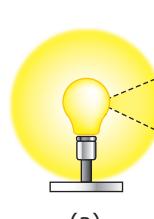
SXC

SXC

2. Quanto à dimensão, a fonte de luz pode ser:

   PONTUAL: se o seu tamanho for desprezível, quando comparado à distância de observação.

   EXTENSA: se o seu tamanho não for desprezível, se comparado à distância de observação.

   OBSERVAÇÃO

   Na verdade, toda fonte de luz é extensa. Assim, se ela ilumina um objeto que se encontra muito distante dela, a fonte de luz pode ser considerada uma fonte pontual.

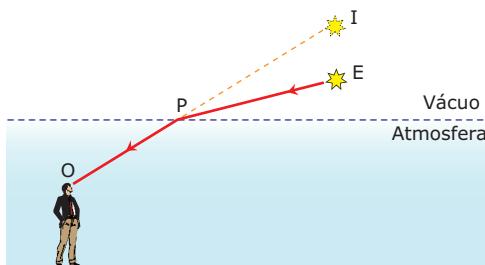
3. Quanto à cor de luz emitida, a fonte é classificada em:

   MONOCROMÁTICA: aquela que emite luz de uma só cor (uma radiação de frequência única).

   POLICROMÁTICA: aquela que emite luzes de diversas cores (várias radiações de diferentes frequências).

Considere uma lâmpada de vapor de sódio emitindo luz amarela, conforme mostrado na figura (a) a seguir. Se tomarmos uma pequena porção dessa luz, entre as linhas pontilhadas, por exemplo, temos o chamado **feixe de luz**. Se imaginarmos tal feixe infinitamente estreito, temos um **raio de luz** (ou raio luminoso). Dessa forma, podemos considerar que a luz que sai da lâmpada é formada por uma infinidade de raios luminosos emitidos pela fonte, em todas as direções em torno dela. Veja a figura (b) a seguir.

(a)

(b)

O feixe de luz, dependendo da posição entre os raios luminosos, pode ser classificado como feixe convergente, paralelo ou divergente, respectivamente, como mostrado a seguir.

O que nós realmente vemos?

É importante, para começar, que você saiba que só é possível enxergar um objeto e / ou a sua imagem se a luz emitida por estes chegar aos olhos do observador.

O objeto (ou a sua imagem) é visto, sempre, na **direção do raio de luz que chega** aos olhos do observador. A figura a seguir, fora de escala, mostra um observador (O) mirando uma estrela (E) no céu. Observe o trajeto da luz que sai da estrela e vai ao observador (EPO).

Como o raio de luz chega ao observador na direção IPO, este verá a imagem da estrela na posição **I** (chamada de posição aparente) e não na posição real **E**, onde se encontra a estrela.

É importante ressaltar que nenhum animal pode **ver a luz**. Nós enxergamos, apenas, os objetos que enviam a luz que chega aos nossos olhos. No vácuo, fora da nossa atmosfera, por exemplo, a luz emitida por todas as estrelas corta o espaço sideral em todas as direções. Estando em uma dessas regiões, um astronauta que olhar ao seu redor poderá ver o Sol, as estrelas, a Lua, os planetas, etc., mas o restante do espaço é totalmente escuro (embora uma infinidade de raios de luz esteja cruzando aquela região).

Tipos de meios de propagação

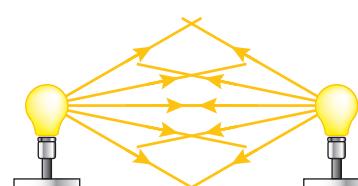
Chamamos de meio de propagação qualquer região do espaço na qual a luz se propaga. Aqui, vamos classificar os meios apenas para a luz visível. Assim, um meio pode ser:

1. **TRANSPARENTE:** é o meio no qual a luz se propaga de forma regular, permitindo que se possa enxergar, de forma nítida, através dele. O ar, o vidro liso e a água cristalina, em pequenas quantidades, são exemplos de meios transparentes.

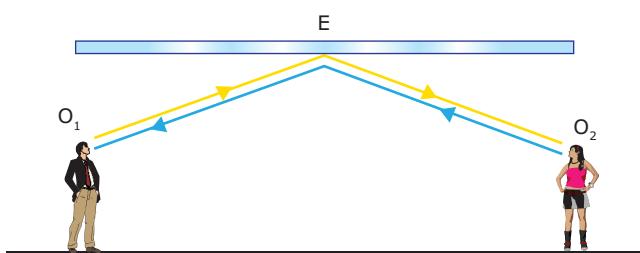
SXC

2. **TRANSLÚCIDO:** é o meio no qual uma parte da luz se propaga, porém de forma irregular. A luminosidade passa através dele, mas a imagem formada não apresenta nitidez. O vidro canelado, plásticos leitosos e água suja são alguns exemplos.

SXC

3. **OPACO:** é o meio que não se deixa atravessar pela luz e, dessa forma, não se pode enxergar através dele. Como exemplos, temos o corpo humano, uma parede, os metais, entre muitos outros.

OBSERVAÇÃO

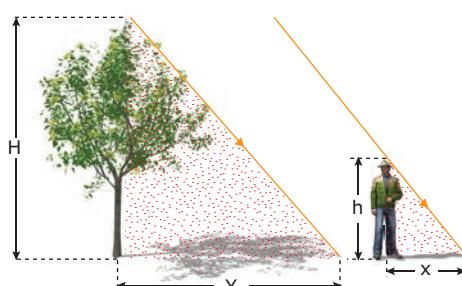
A. Dependendo da espessura a ser atravessada pela luz, um meio transparente pode se tornar translúcido ou mesmo opaco. É o caso, por exemplo, da água cristalina. Uma lagoa profunda, mesmo de águas claras, não nos permite ver o fundo.

B. Materiais opacos à luz visível podem ser translúcidos ou mesmo transparentes para outras radiações. Cita-se, por exemplo, o corpo humano, que é relativamente transparente para os raios X. Da mesma forma, materiais transparentes para a luz visível podem ser opacos a outras radiações. O vidro comum, por exemplo, é transparente à luz visível, mas é opaco ao infravermelho e ao ultravioleta.

Princípios de propagação da luz

Nos meios de propagação que sejam transparentes, isotrópicos e homogêneos, podemos usar importantes princípios de propagação da luz, a saber:

1. **PROPAGAÇÃO RETILÍNEA:** a luz se propaga, a partir da fonte, em linha reta. Isso quer dizer que a energia transmitida por um raio luminoso viaja em movimento retilíneo através do meio.

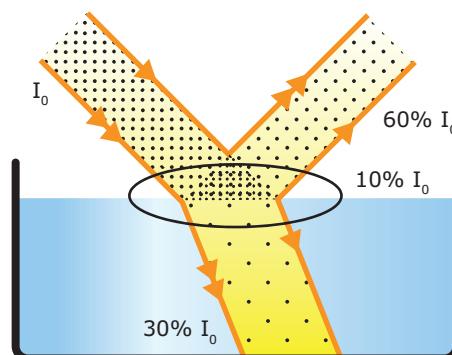
2. **INDEPENDÊNCIA DOS RAIOS:** dois ou mais raios ou feixes de luz se propagam independentemente da existência de outro(s) na mesma região e no mesmo instante. Havendo cruzamento entre eles, cada um segue o seu caminho sem tomar conhecimento da existência do(s) outro(s). Veja a seguir.

3. **REVERSIBILIDADE:** a trajetória seguida pela luz entre dois pontos quaisquer é exatamente a mesma indo do primeiro ponto ao segundo ou voltando do segundo ponto ao primeiro. Veja o exemplo a seguir. Considere duas pessoas (O_1 e O_2) se olhando através de um espelho (E). O observador 2 recebe a luz emitida pelo observador 1, segundo a trajetória amarela. O observador 1 recebe a luz emitida pelo observador 2, conforme a trajetória azul. Tais caminhos são idênticos (eles foram ligeiramente deslocados, na figura a seguir, para que você possa distinguir um do outro).

IMPORTANTE: conforme a informação anterior, se você enxerga uma pessoa através de um espelho plano devidamente colocado, a outra pessoa, com certeza, o estará vendo se olhar para o mesmo ponto do espelho.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Uma árvore, em determinado horário, projeta no chão uma sombra de 3,0 m de comprimento. Você, que tem 1,8 m de altura, mede a sua sombra, no mesmo instante, e encontra 0,60 m. Determinar a altura da árvore.

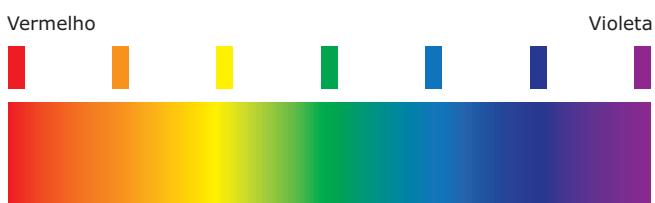
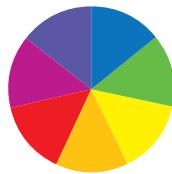
Resolução:

A solução do exercício usa o princípio da propagação retilínea da luz. Veja a figura a seguir.

Usando semelhança nos triângulos destacados, temos:

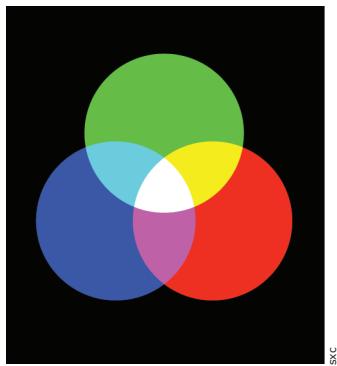
$$\frac{H}{h} = \frac{Y}{x} \therefore \frac{H}{1{,}8} = \frac{3{,}0}{0{,}60} \therefore H = 9{,}0 \text{ m}$$

Alguns fenômenos ópticos

Quando uma onda luminosa atinge um objeto, alguns fenômenos ópticos podem ocorrer. Considere, por exemplo, a luz que se propaga no ar e chega à superfície da água de um aquário. Veja a figura a seguir. Ela mostra a ocorrência simultânea de três fenômenos:

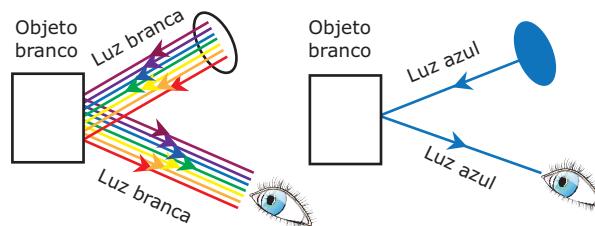
1. **REFLEXÃO:** corresponde à parte do feixe luminoso que retorna ao meio de origem após atingir a superfície de separação, mantendo o mesmo módulo da velocidade de propagação.
2. **REFRAÇÃO:** corresponde à parte do feixe luminoso que passa para a outra substância (muda o meio de propagação), alterando a sua velocidade de propagação.
3. **ABSORÇÃO:** corresponde à parcela da radiação que é absorvida pela superfície que separa os dois meios (fica retida na superfície) e que geralmente faz a substância aquecer.

Considere que a energia que atinge a superfície tenha uma intensidade I_0. A parte refletida, que volta ao meio de origem (o ar), apresenta intensidade $60\%I_0$, por exemplo. Considere que a parcela refratada, que penetra na água, tenha intensidade $30\%I_0$. Observe que, "nessa conta", faltam 10% de I_0. Essa parcela é absorvida pela superfície na incidência. Nesse caso, portanto, os três fenômenos acontecem simultaneamente.

A quantidade de energia refletida, refratada e absorvida depende de uma série de fatores, entre eles a natureza dos meios envolvidos e o ângulo de incidência da radiação.

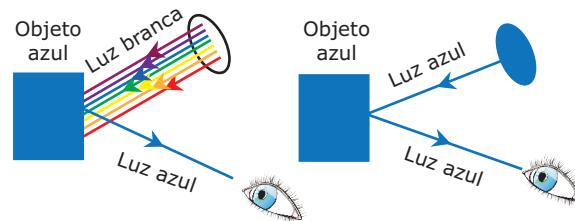
As radiações do espectro visível

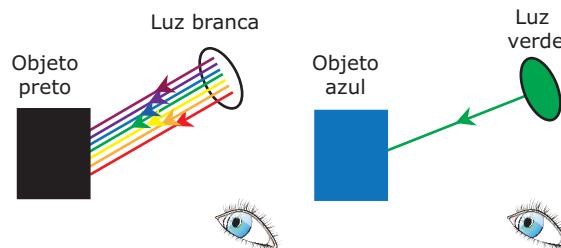
A luz branca emitida pelo Sol é policromática e é formada pela combinação de **infinitas** radiações de frequências diferentes. O nosso sistema visual identifica cada frequência diferente como sendo uma luz de cor distinta. O espectro visível é composto, portanto, de uma infinidade de cores que vão do vermelho ao violeta. No espectro da luz visível, podemos considerar sete cores básicas: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta. As radiações foram apresentadas na ordem crescente de frequências. Veja o espectro a seguir.

A mistura de todas as cores do espectro visível (radiações de luz) nos fornece o branco. Faça a experiência a seguir, bastante ilustrativa, para comprovar que a mistura das cores básicas fornece a cor branca. Pegue um disco de papelão e pinte setores com as cores básicas, conforme mostrado a seguir.

Coloque o disco a girar em torno do centro, em alta rotação, e observe. Uma vez que a nossa retina "guarda" uma informação por uma fração de segundo, todas as cores vão se sobrepor sobre a retina. O resultado disso é a sensação de que o disco é branco. Observe que estamos falando na mistura de radiações luminosas e não mistura de tintas ("pigmentos"). Se você misturar tintas de todas as cores sobre uma folha de papel, por exemplo, é claro que o resultado não será o branco.

Para se obter o branco, não é necessário, entretanto, adicionar todas as cores. Existem algumas radiações, chamadas de **cores aditivas primárias**, que, quando somadas, nos fornecem o branco. Um trio primário, muito usado, é o chamado RGB, empregado no sistema de colorização do nosso sistema de televisão, e é formado pelas cores vermelho (R), verde (G) e azul (B). A mistura dessas três radiações nos fornece o branco. Veja, na figura a seguir, que a mistura de apenas duas delas nos fornece uma cor diferente. Observe que a adição de vermelho com azul fornece o magenta. A soma de azul com verde resulta em ciano. A mistura de verde com vermelho produz o amarelo. Veja, agora, a região central. Ela apresenta a cor branca pela adição das três cores primárias. Dependendo da parcela de cada uma delas, podemos obter todas as outras cores do espectro.

SXC

As cores dos objetos

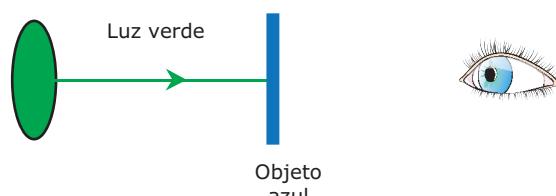
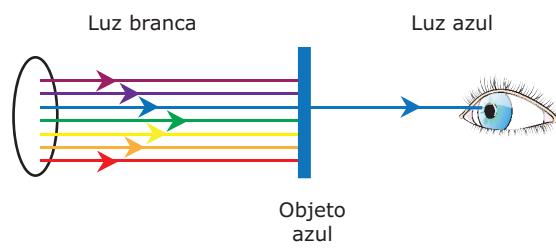
A cor de um objeto é uma sensação que o nosso sistema visual tem quando recebe a luz daquele corpo. Assim, a sensação de cor é pessoal, subjetiva e, possivelmente, pessoas diferentes percebem o mesmo objeto, nas mesmas circunstâncias, em cores distintas. Mas, embora possamos perceber cores diferentes, damos a cada uma delas o mesmo nome, pois aprendemos que assim são chamadas.

Assim, a cor de um objeto, percebida por um observador, não é uma característica intrínseca do objeto. A cor depende da estrutura do material e, principalmente, da luz que incide sobre ele. Cada objeto, em geral, tem a capacidade de absorver, de refletir e de transmitir (refratar) algumas das radiações que chegam a ele. Assim, enxergamos o objeto na cor da luz que ele reflete ou transmite.

Cores obtidas pela reflexão da luz

Veja a seguir um objeto branco sendo iluminado por luz branca e por luz azul. No primeiro caso, o objeto reflete todas as radiações e o observador enxerga o objeto branco. No segundo caso, o objeto, embora branco, reflete apenas o azul (única radiação que chegou a ele) e, portanto, será visto na cor azul.

Considere a seguir um objeto azul sendo iluminado por luz branca e por luz azul. Na primeira situação, o objeto, sendo azul, reflete apenas o azul. Na segunda, ele também reflete só o azul (única radiação que incide). Assim, nos dois casos, ele será visto na cor azul.

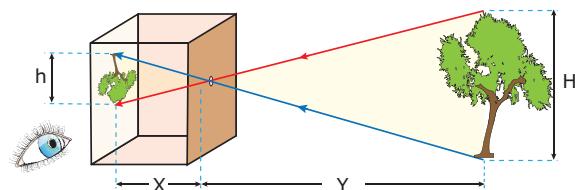
E os objetos que são vistos como sendo pretos? Isso pode ocorrer em duas situações. Se o corpo é preto, ele será visto nessa cor independentemente da radiação que chega a ele, uma vez que o corpo absorve toda a radiação que nele incide (e nada reflete). Veja a seguir.

Outra situação possível acontece quando um objeto colorido é iluminado por radiação de cor diferente da dele. Veja na figura anterior. Um corpo azul é iluminado por luz verde. Sendo azul, ele só reflete luz azul. Como não chegou luz azul (apenas verde), ele nada reflete e, portanto, será visto como sendo preto.

Você sabe que existem objetos cujas cores não se encontram no espectro da luz visível (marrom e cinza, por exemplo). Eles são percebidos naquelas cores, pois refletem duas ou mais radiações, cuja adição nos fornece a referida cor (inexistente no espectro).

PARA REFLETIR

Qual é a cor do Sol, quando visto de fora da atmosfera terrestre?

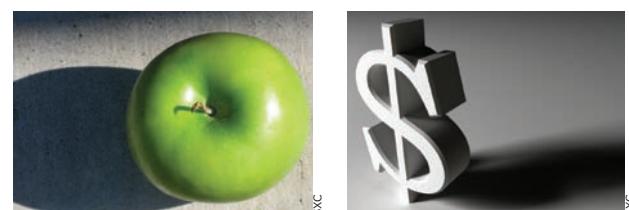
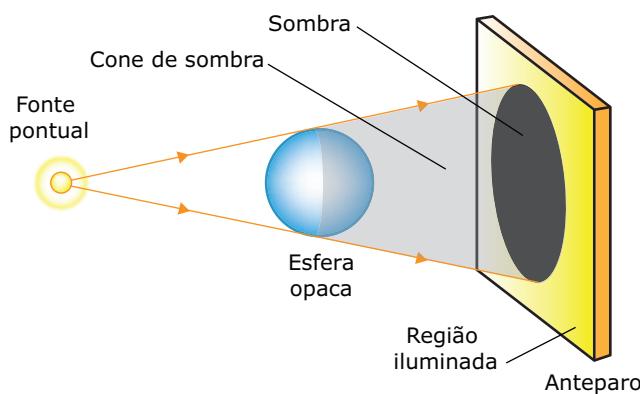
Cores obtidas pela transmissão da luz

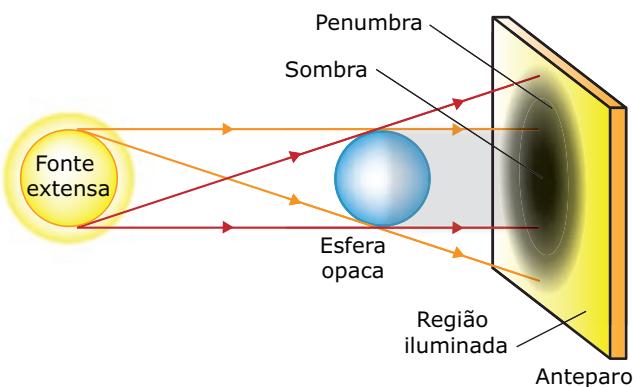
Considere um objeto transparente, porém colorido, chamado de filtro colorido. Um bom exemplo é uma folha de papel celofane. Ao ser iluminada, parte da radiação atravessa por ela. Um observador, que recebe essa luz transmitida, terá a sensação de cor do objeto conforme mostrado na figura seguinte. Considere um celofane azul.

Sendo azul, o filtro só se deixa atravessar pela radiação azul. Se iluminado por luz branca, apenas o azul o atravessa e chega aos olhos do observador do outro lado. Tal observador verá o celofane azul. Se ele for iluminado por radiação de quaisquer outras cores, exceto o azul, todas elas serão absorvidas ou refletidas pelo celofane. Dessa forma, nenhuma radiação atravessa a folha e o observador do outro lado enxerga o celofane como sendo preto. Você já deve ter visto holofotes (ou *spots*) iluminando festas ou *shows*. A luz branca de uma lâmpada sai pelo filtro apenas na radiação correspondente à cor do filtro colocado à sua frente.

Dessa forma, se dois filtros de cores diferentes (presentes no espectro) são justapostos e iluminados por luz branca, nenhuma radiação os atravessa e, vistos pelo outro lado, eles vão se mostrar negros.

APLICAÇÕES

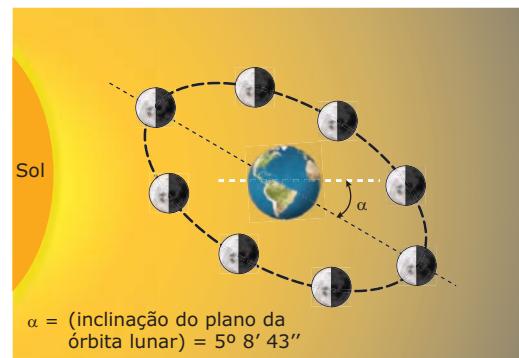
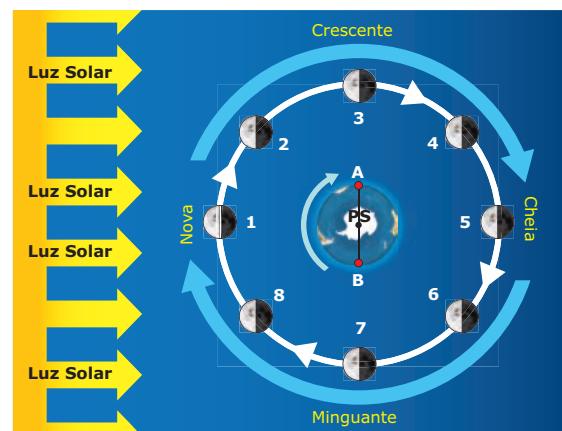
Câmara escura

Considere uma caixa fechada, com um pequeno orifício numa das paredes e com uma folha de papel de seda, papel manteiga ou papel heliográfico – todos brancos e translúcidos – na parede oposta. Se uma fonte de luz (seja primária ou secundária) estiver à frente do orifício, ela envia luz para o interior da caixa, através do orifício, e uma imagem será formada na folha da parede oposta. O seu funcionamento está baseado no princípio da propagação retilínea da luz. Veja a seguir.

Considere uma árvore à frente do orifício. Veja a figura anterior. O observador que olhar através do papel verá uma imagem da árvore, projetada sobre a folha, que é invertida, tanto vertical quanto horizontalmente, como consequência da propagação retilínea dos raios de luz. Se conhecemos a altura da imagem (h), a distância da árvore ao orifício (Y) e o comprimento da caixa (X), por semelhança dos triângulos destacados, podemos calcular a altura (H) da árvore, ou seja:

$$\frac{H}{h} = \frac{Y}{X}$$

Formação de sombras e penumbras

Na maioria das situações do cotidiano, a luz se propaga em linha reta. Uma consequência importante, relacionada a esse comportamento, refere-se à formação de sombras e penumbras em um anteparo.

SXC

SXC

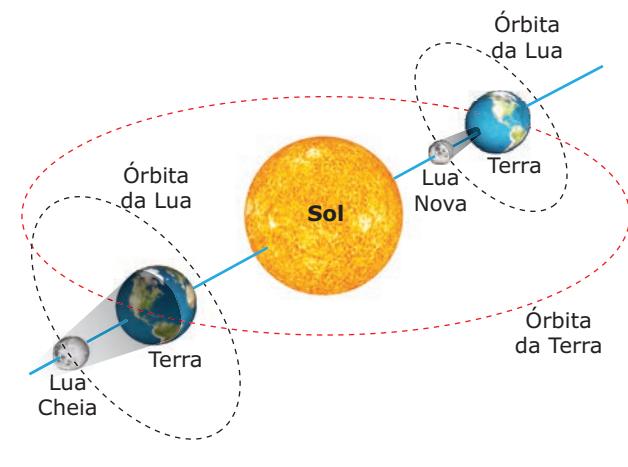
Considere uma fonte **pontual** colocada a certa distância de uma parede. Considere ainda uma esfera opaca entre a parede e a fonte, conforme mostra a figura a seguir. Dos raios provenientes da fonte, alguns passam ao redor da esfera, atingindo a parede e iluminando-a. Os outros são interceptados pela esfera e não atingem a parede. A região da parede que receberia tais raios, caso a esfera não estivesse ali, é chamada de **sombra**. Essa região é escura porque não recebe nenhuma luz proveniente da fonte. Alguém que se colocasse na sombra (ou mesmo no **cone de sombra** indicado na figura) não poderia enxergar a fonte de luz.

Considere a mesma situação anterior, exceto pelo fato de que a fonte agora é **extensa**, conforme representado na figura a seguir. Nesse caso, além da formação de sombra, percebemos um anel semiescuro em volta da sombra, que vai clareando à medida que se afasta do centro dela. Essa região é chamada de **penumbra**. Observe que os contornos da sombra e da penumbra não são bem definidos. Traçando alguns raios provenientes da fonte, será fácil perceber que a penumbra é iluminada pela fonte apenas parcialmente. Veja que os raios provenientes da parte de baixo da fonte atingem e iluminam predominantemente a porção inferior da penumbra. Analogamente, os raios provenientes da parte de cima da fonte atingem predominantemente a parte superior da penumbra.

Se um observador se colocar na parte de baixo da penumbra, verá apenas a porção inferior da fonte, e quem estiver na parte de cima da penumbra vai enxergar apenas a porção superior da fonte. Uma pessoa que estiver na região iluminada enxergará toda a fonte (ainda que a esfera esteja à sua frente).

Fases da Lua

As fases da Lua estão relacionadas com a posição desta em relação ao Sol e à Terra. As posições da Lua em torno da Terra estão mostradas a seguir (figura fora de escala). O plano de órbita da Lua não coincide com o plano de rotação da Terra, sendo inclinado em relação a esse de, aproximadamente, 5°. Observe que a parte da Lua voltada para o Sol é uma região iluminada. Dessa forma, um observador na Terra, olhando para a Lua, poderá ver, dependendo da posição desta, partes iluminadas e regiões escuras. Essas diferentes distribuições de luminosidade são o que determinam as chamadas fases da Lua.

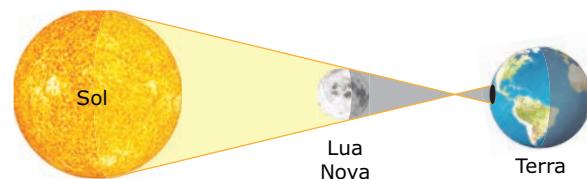
Para facilitar o raciocínio, considere um obervador, fora da Terra, olhando o sistema Terra-Lua, pelo Polo Sul da Terra (PS). A figura a seguir mostra a trajetória da Lua, conforme vista por tal observador, em oito momentos de seu movimento em torno da Terra. Observe que os movimentos de translação da Lua e de rotação da Terra estão no sentido horário para tal observador. Na figura, o deslocamento da Terra em torno do Sol é pequeno e foi desprezado.

Um habitante, no Hemisfério Sul da Terra, olhando para o céu à noite, nas posições indicadas anteriormente (de 1 a 8), veria a Lua como mostrado a seguir.

Volte à penúltima figura e observe os pontos A e B colocados na Terra. A noite está começando para um observador no ponto A. Olhando para o céu, nesse horário, ele poderá ver, dependendo do dia do mês e da estação do ano, de Lua Nova até Lua Cheia (particularmente, a Lua Crescente), mas jamais verá a Lua Minguante (esta estará do outro lado da Terra, nesse horário). Ao contrário, para o observador no ponto B, está começando o dia. Ele poderá ver de Lua Cheia até Lua Nova (particularmente, a Lua Minguante), mas nunca verá, nesse horário, a Lua Crescente.

A posição 2 das figuras anteriores mostra a Lua Crescente vista por um observador no Hemisfério Sul. Estando nesse hemisfério, ele vê a Lua "por baixo" (ele se encontra abaixo do plano de órbita da Lua). Considere um observador na região do Equador (ele se encontra próximo ao plano de órbita da Lua) e um outro que se localiza no Hemisfério Norte (que vê a Lua "por cima" – encontra-se acima do plano de órbita desta). As figuras a seguir mostram a mesma Lua Crescente, no mesmo dia e horário, vistas em posições diferentes da Terra.

Lua Crescente vista do

Assim, dependendo da localização do observador na Terra, a inclinação da Lua Crescente varia de um extremo a outro da figura anterior. Para a Lua Minguante, vale o mesmo raciocínio.

Eclipses do Sol e da Lua

Como o Sol é uma fonte extensa, os raios luminosos que vão para a Terra e para a Lua, ao encontrarem uma delas pelo caminho, formam regiões de sombras e de penumbras na outra. O eclipse é um fenômeno celeste envolvendo, pelo menos, **dois astros** e um observador. Nesse fenômeno, um dos astros deixa de ser visível, total (quando o observador se coloca no cone de sombra gerado pelo outro astro) ou parcialmente (quando o observador se localiza na região de penumbra gerada pelo outro astro). Assim, um eclipse está relacionado à propagação retilínea da luz e, para aqueles que mais nos interessam, à geometria do sistema Sol-Terra-Lua. Para que exista um eclipse, visto da Terra, é necessário que o Sol, a Terra e a Lua estejam alinhados. O eclipse do Sol ocorre durante o dia de Lua Nova, pois esta se coloca entre o Sol e a Terra. O eclipse da Lua acontece na noite de Lua Cheia, uma vez que a Terra se encontra entre o Sol e Lua. A ilustração a seguir, fora de escala, mostra os eclipses lunar e solar.

Veja que, na parte esquerda da figura, a Lua Cheia está no cone de sombra da Terra. Assim, a Lua Cheia deixa de ser vista da Terra (eclipse total da Lua). Quando a Lua Cheia passa pela região de penumbra da Terra (não mostrada na figura), temos um eclipse parcial, uma vez que parte da Lua continua visível o tempo todo. Na parte direita da figura, o cone de sombra da Lua se projeta sobre a Terra. Assim, os observadores colocados na região de sombra projetada pela Lua (círculo preto) não poderão ver o Sol (eclipse total do Sol). Para os observadores da Terra, colocados na região de penumbra da Lua (em torno do círculo preto), ocorre um eclipse parcial do Sol (não indicado na figura). Nesse mesmo instante, para os habitantes que se encontram na região iluminada da Terra (não mostrada na figura), não ocorre o eclipse. Assim, o eclipse do Sol, quando acontece, será visível apenas em pequenas regiões da Terra. Veja a seguir fotografias dos eclipses do Sol e da Lua.

SXC

SXC

Os eclipses são raros de ocorrer, principalmente do Sol, pois os planos de órbita da Terra e da Lua não coincidem (defasados de 5°). Dessa forma, poucas vezes os três astros estão alinhados. A distância Terra-Lua é variável e, assim, existe uma posição em que a Lua está mais distante da Terra. Se nessa posição é Lua Nova e os três astros estão alinhados, pode ocorrer um eclipse solar mais raro ainda. Observe a figura a seguir, fora de escala, que caracteriza a situação indicada. Veja que a Terra está, na região de penumbra da Lua, fora do cone de sombra e além do seu vértice.

Os habitantes que se encontram, nesse momento, no círculo negro recebem apenas a luz dos bordos do Sol. Assim, a parte central do Sol está obstruída pela Lua (eclipse solar), mas um anel luminoso será visto em torno da Lua (eclipse anular). A visão desse eclipse está mostrada na foto seguinte. Um eclipse como esse ocorreu em 15 de janeiro de 2010.

SXC

Olhando para o passado

A velocidade da luz, tanto no ar como no vácuo, é muito grande, porém finita. O seu valor aproximado é de $3,0 \times 10^8$ m/s (300 000 km/s). Isso quer dizer que ela gasta um tempo não nulo para percorrer determinada distância. A distância Terra-Sol é, em média, de $1,5 \times 10^{11}$ m. Assim, a luz do Sol gasta, aproximadamente, 500 s (cerca de 8 minutos) para chegar à Terra. Nós enxergamos um objeto quando a luz emitida por ele chega ao nosso sistema visual. Como a luz do Sol gasta 8 minutos para chegar à Terra, nós o vemos como ele era, no instante em que emitiu a luz. Ou seja, vemos, em cada momento, um Sol de 8 minutos atrás.

Com o objetivo de facilitar o entendimento de uma medição, as unidades devem estar de acordo com a grandeza a ser medida. Quando queremos medir a espessura de uma folha de papel, usamos o milímetro; para medir a altura de uma pessoa, preferimos o metro; para estimar distâncias entre cidades, é usual o quilômetro. Estrelas estão muito distantes da Terra. Para determinar tais distâncias, preferimos uma unidade chamada **ano-luz**. Ela se refere à distância percorrida pela luz em um ano. Assim, ano-luz é uma unidade de distância (D), e não de tempo (t).

D = 1 ano-luz = distância percorrida pela luz em 1 ano

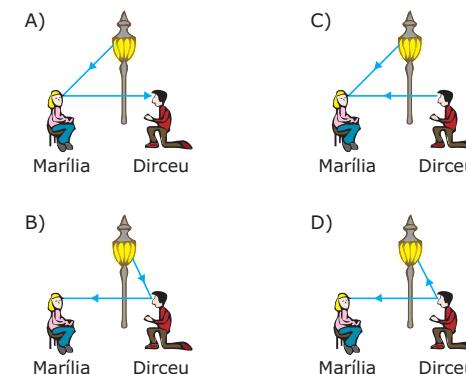
Um ano (365 dias de 24 h cada) apresenta:

$t = (1.365.24.60.60) = 31\ 536\ 000$ segundos

$t = 3,2 \times 10^7$ s

Como a velocidade da luz no espaço é constante, podemos calcular a distância percorrida pela luz em um ano da seguinte maneira:

$D = v.t = 3,0 \times 10^8 . 3,2 \times 10^7 = 9,6 \times 10^{15}$ m

$D = 1$ ano-luz $= 9,6 \times 10^{15}$ m

A segunda estrela mais próxima da Terra, visível a olho nu, é a Alfa, da constelação de Centauro. A sua distância à Terra é de 4,3 anos-luz. Isso quer dizer que recebemos a luz que saiu de Alfa e, portanto, a enxergamos como ela **era** há 4,3 anos. Temos estrelas a centenas, milhões, bilhões de anos-luz da Terra. Nós as vemos como elas eram no momento em que elas emitiram a luz. Muitas das estrelas que estão no nosso céu já "morreram" há muito tempo. Como a luz enviada por elas ainda está a caminho da Terra, nós ainda as enxergamos. Várias das novas estrelas, surgidas no Universo, jamais serão vistas em nossa vida, uma vez que a luz emitida por elas ainda não chegou a nós e nem chegará até nossos dias finais.

Dessa forma, quando você olha para o céu, você está enxergando o passado. Um passado "plural", pois está vendo cada estrela como ela era há dezenas, milhares, bilhões de anos atrás! Agora, me responda: a Óptica não é um assunto muito fascinante?

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (UFMG) Marília e Dirceu estão em uma praça iluminada por uma única lâmpada.

Assinale a alternativa em que estão **CORRETAMENTE** representados os feixes de luz que permitem a Dirceu ver Marília.

02. (UEMA) Se o Sol "apagasse", ou seja, se sua luz deixasse de ser emitida, após uma hora de ocorrência desse fato, um sobrevivente, olhando o céu sem nuvens, veria

A) somente a Lua.
B) as estrelas.
C) a Lua e o Sol apagados.
D) uma completa escuridão.
E) a Lua e as estrelas.

03. (EFOA-MG) Em uma situação, ilustrada na figura 1, uma lâmpada e um observador têm, entre si, uma lâmina de vidro colorida. Em outra situação, ilustrada na figura 2, ambos, a lâmpada e o observador, encontram-se à frente de uma lâmina de plástico colorida, lisa e opaca. Mesmo sendo a lâmpada emissora de luz branca, em ambas as situações o observador enxerga as lâminas como sendo de cor verde.

Figura 1

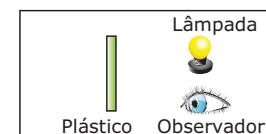
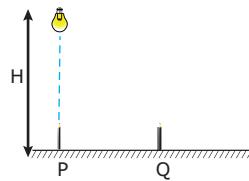
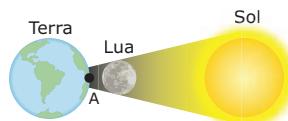



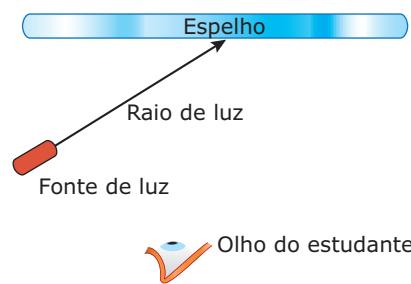
Figura 2

Pode-se, então, afirmar que, predominantemente,

A) o vidro reflete a luz de cor verde, absorvendo as outras cores, e o plástico transmite a luz de cor verde, absorvendo as outras cores.
B) o vidro absorve a luz de cor verde, transmitindo as outras cores, e o plástico absorve a luz de cor verde, refletindo as outras cores.
C) o vidro transmite a luz de cor verde, absorvendo as outras cores, e o plástico absorve a luz de cor verde, refletindo as outras cores.
D) o vidro absorve a luz de cor verde, transmitindo as outras cores, e o plástico reflete a luz de cor verde, absorvendo as outras cores.
E) o vidro transmite a luz de cor verde, absorvendo as outras cores, e o plástico reflete a luz de cor verde, absorvendo as outras cores.

04. (UFF-RJ) Para determinar a que altura H uma fonte de luz pontual está do chão, plano e horizontal, foi realizada a seguinte experiência. Colocou-se um lápis de 0,10 m, perpendicularmente sobre o chão, em duas posições distintas: primeiro em P e depois em Q. A posição P está exatamente na vertical que passa pela fonte e, nessa posição, não há formação de sombra do lápis, conforme ilustra esquematicamente a figura. Na posição Q, a sombra do lápis tem comprimento 49 (quarenta e nove) vezes menor que a distância entre P e Q. A altura H é, aproximadamente, igual a

A) 0,49 m.
B) 1,5 m.
C) 5,0 m.
D) 1,0 m.
E) 3,0 m.

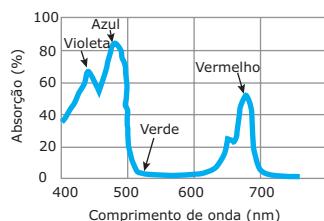
05. (Unifor-CE) O esquema representa o alinhamento do Sol, da Terra e da Lua no momento de um eclipse. Nesse instante, uma pessoa situada no ponto A observará um eclipse

A) parcial da Lua.
B) total da Lua.
C) anular do Sol.
D) parcial do Sol.
E) total do Sol.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (FGV-SP–2010) O vendedor de churros havia escolhido um local muito próximo a um poste de iluminação. Pendurado no interior do carrinho, um lampião aceso melhorava as condições de iluminação. Admitindo que o centro de todos os elementos da figura, exceto as finas colunas que suportam o telhado do carrinho, estão no mesmo plano vertical, considerando apenas as luzes emitidas diretamente do poste e do lampião e tratando-os como os extremos de uma única fonte extensa de luz, a base do poste, a lixeira e o banquinho, nessa ordem, estariam inseridos em regiões classificáveis como

A) luz, sombra e sombra.
B) luz, penumbra e sombra.
C) luz, penumbra e penumbra.
D) penumbra, sombra e sombra.
E) penumbra, penumbra e penumbra.

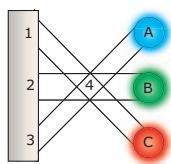
02. (UNESP-SP–2010) Um professor de Física propôs aos seus alunos que idealizassem uma experiência relativa ao fenômeno luminoso. Pediu para que eles se imaginassem numa sala completamente escura, sem qualquer material em suspensão no ar e cujas paredes foram pintadas com uma tinta preta ideal, capaz de absorver toda a luz que incidisse sobre ela. Em uma das paredes da sala, os alunos deveriam imaginar uma fonte de luz emitindo um único raio de luz branca que incidisse obliquamente em um extenso espelho plano ideal, capaz de refletir toda a luz nele incidente, fixado na parede oposta àquela na qual o estudante estaria encostado (observe a figura).

Se tal experiência pudesse ser realizada nas condições ideais propostas pelo professor, o estudante dentro da sala

A) enxergaria somente o raio de luz.
B) enxergaria somente a fonte de luz.
C) não enxergaria nem o espelho, nem o raio de luz.
D) enxergaria somente o espelho em toda sua extensão.
E) enxergaria o espelho em toda sua extensão e também o raio de luz.

03. (FCMMG) Filomena está curiosa para saber a altura de um rapaz que está em pé, esperando o ônibus. Observa que o Sol das 10 h da manhã forma uma sombra do rapaz, a qual ocupa 5 lajotas quadradas de 20 cm de lado. Ela sabe que, nesse dia, o Sol nasceu às 6 h e ao meio-dia estará a pino. Filomena determinou que a altura do rapaz é de

A) 1,5 m.
B) 1,6 m.
C) 1,7 m.
D) 1,8 m.

04. (FMTM-MG) O princípio da reversibilidade da luz fica bem exemplificado quando

A) holofotes iluminam os atores em um teatro.
B) se observa um eclipse lunar.
C) um feixe de luz passa pela janela entreaberta.
D) a luz polarizada atinge o filme fotográfico.
E) duas pessoas se entreolham por meio de um espelho.

05. (UFRN–2010) A coloração das folhas das plantas é determinada, principalmente, pelas clorofilas a e b – nelas presentes –, que são dois dos principais pigmentos responsáveis pela absorção da luz necessária para a realização da fotossíntese. O gráfico a seguir mostra o espectro conjunto de absorção das clorofilas a e b em função do comprimento de onda da radiação solar visível.

Com base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que, para realizar a fotossíntese, as clorofilas absorvem, predominantemente,

A) o violeta, o azul e o vermelho, e refletem o verde.
B) o verde, e refletem o violeta, o azul e o vermelho.
C) o azul, o verde e o vermelho, e refletem o violeta.
D) o violeta, e refletem o verde, o vermelho e o azul.

06. (UEPB) Durante o Maior São João do Mundo, realizado na cidade de Campina Grande, um estudante de Física, ao assistir a um *show*, decidiu observar o comportamento dos feixes de luz emitidos por três canhões, os quais emitiam luz nas seguintes cores: canhão A – luz azul; canhão B – luz verde; canhão C – luz vermelha, como mostra a figura a seguir. Considerando que os três feixes de luz têm a mesma intensidade e se cruzam na posição 4, as cores vistas pelo estudante nas regiões iluminadas 1, 2 e 3 do palco e na posição 4 são, respectivamente,

A) vermelha, verde, azul e branca.
B) branca, azul, verde e vermelha.
C) amarela, vermelha, verde e azul.
D) vermelha, verde, azul e preta.
E) branca, branca, branca e branca.

07. (UFMG) Um feixe de luz do Sol é decomposto ao passar por um prisma de vidro. O feixe de luz visível resultante é composto de ondas com

A) apenas sete frequências, que correspondem às cores vermelha, alaranjada, amarela, verde, azul, anil e violeta.
B) apenas três frequências, que correspondem às cores vermelha, amarela e azul.
C) apenas três frequências, que correspondem às cores vermelha, verde e azul.
D) uma infinidade de frequências, que correspondem a cores desde a vermelha até a violeta.

08. (UFPB) As folhas de uma árvore, quando iluminadas pela luz do Sol, mostram-se verdes porque

A) refletem difusamente a luz verde do espectro solar.
B) absorvem somente a luz verde do espectro solar.
C) refletem difusamente todas as cores do espectro solar, exceto o verde.
D) difratam unicamente a luz verde do espectro solar.
E) a visão humana é mais sensível a essa cor.

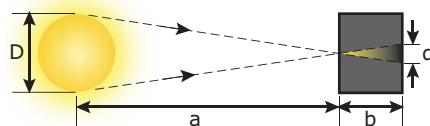
09. (Unimontes-MG) Um objeto é iluminado com luz branca, dentro de uma vitrine, cujo vidro é um filtro de luz que só deixa passar a luz de cor vermelha. Para que esse objeto seja visível através da vitrine, sua cor pode ser

A) apenas branca.
B) apenas vermelha.
C) qualquer uma, menos vermelha ou branca.
D) vermelha ou branca.

10. (UFU-MG–2010) Ao olhar para um objeto (que não é uma fonte luminosa), em um ambiente iluminado pela luz branca, e constatar que ele apresenta a cor amarela, é **CORRETO** afirmar que

A) o objeto absorve a radiação cujo comprimento de onda corresponde ao amarelo.
B) o objeto refrata a radiação cujo comprimento de onda corresponde ao amarelo.
C) o objeto difrata a radiação cujo comprimento de onda corresponde ao amarelo.
D) o objeto reflete a radiação cujo comprimento de onda corresponde ao amarelo.

11. (FUVEST-SP–2010) Astrônomos observaram que a nossa galáxia, a Via Láctea, está a $2,5 \times 10^6$ anos-luz de Andrômeda, a galáxia mais próxima da nossa. Com base nessa informação, estudantes em uma sala de aula afirmaram o seguinte:

I. A distância entre a Via Láctea e Andrômeda é de 2,5 milhões de km.
II. A distância entre a Via Láctea e Andrômeda é maior que 2×10^{19} km.
III. A luz proveniente de Andrômeda leva 2,5 milhões de anos para chegar à Via Láctea.

Dados: 1 ano tem aproximadamente 3×10^7 s;
velocidade da luz = 3×10^5 km/s

Está **CORRETO** apenas o que se afirma em

A) I. C) III. E) II e III.
B) II. D) I e III.

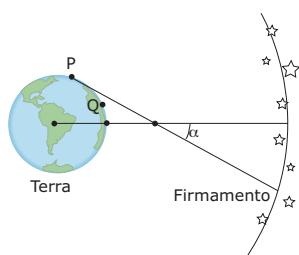
12. (UFTM-MG–2010) Para medir distâncias utilizando-se das propriedades geométricas da luz, um estudante providencia uma caixa cúbica, de aresta 16 cm. Após pintar o interior com tinta preta, faz um orifício no centro de uma das faces e substitui a face oposta ao orifício por uma folha de papel vegetal. Feito isso, aponta o orifício para uma porta iluminada, obtendo dela uma imagem nítida, invertida e reduzida, projetada sobre a folha de papel vegetal. Sabendo-se que a altura da imagem observada da porta é 14 cm e que a altura da porta é 2,15 m, conclui-se que a distância aproximada, em metros, entre o orifício da caixa e a porta é

A) 0,9. B) 1,8. C) 2,5. D) 3,5. E) 4,8.

13. (Fatec-SP) Mediante uma câmara escura de orifício, obtém-se uma imagem do Sol, conforme o esquema a seguir:

Dados: distância do Sol à Terra a = $1,5 \times 10^{11}$ m; distância do orifício ao anteparo b = 1,0 m; diâmetro da imagem d = 9,0 mm.

Podemos concluir que o valor aproximado para o diâmetro D do Sol é

A) $1,7 \times 10^{10}$ m.
B) $1,4 \times 10^{9}$ m.
C) $1,7 \times 10^{7}$ m.
D) $1,4 \times 10^{12}$ m.
E) N.d.a.

14. (UFMT) Considere dois observadores, um na Terra e outro no planeta Marte. O observador na Terra vê, à meia-noite, o planeta Marte no ponto mais alto no céu, sobre sua cabeça. À meia-noite, no planeta Marte, o observador de lá

A) vê a Terra no ponto mais alto sobre sua cabeça.
B) não vê a Terra.
C) vê a Terra entre Vênus e Júpiter.
D) vê a Terra em conjunção com Mercúrio e o Sol.
E) verifica que a luz do Sol refletida pela Terra é imperceptível devido à grande distância.

15. (UEL-PR) Durante um eclipse solar, um observador,

A) no cone de sombra, vê um eclipse parcial.
B) na região da penumbra, vê um eclipse total.
C) na região plenamente iluminada, vê a Lua eclipsada.
D) na região plenamente iluminada, não vê o eclipse solar.

16. (UEL-PR–2010) *Dois são os lugares do planeta no firmamento, o aparente e o verdadeiro. O aparente é determinado pela linha reta traçada do olho do observador ao centro do planeta observado e o verdadeiro é aquele marcado pela linha reta lançada do centro da terra ao centro do planeta observado. A paralaxe não é outra coisa que aquele espaço no céu (ângulo α) que está compreendido entre as duas linhas, a do lugar aparente e a do lugar verdadeiro.*

CARTA de Galileu Galilei a Francisco Ingoli. São Paulo: *Scientiae Studio*. v. 3, n. 3. p. 481-482. 2005 (Adaptação).

O texto refere-se à intenção de Galileu de provar que o Sol estava no centro do universo. Por meio desse texto, Galileu explica a Francisco Ingoli o que é a paralaxe. Observe a figura a seguir:

Com base no texto e na figura, analise as afirmativas a seguir:

I. Para um observador em P, a paralaxe da Lua é maior que a paralaxe de Júpiter.

II. Quanto mais próximo estiver um observador do lugar verdadeiro, maior a paralaxe do planeta observado.

III. A paralaxe do Sol é menor para um observador em Q do que para um observador em P.

IV. Para um observador em P, quanto maior o afastamento de um planeta em relação à Terra, menor será sua paralaxe.

Assinale a alternativa **CORRETA**.

A) Somente as afirmativas I e II são corretas.
B) Somente as afirmativas I e III são corretas.
C) Somente as afirmativas II e IV são corretas.
D) Somente as afirmativas I, III e IV são corretas.
E) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

SEÇÃO ENEM

01. (Enem–2009) Sabe-se que o olho humano não consegue diferenciar componentes de cores e vê apenas a cor resultante, diferentemente do ouvido, que consegue distinguir, por exemplo, dois instrumentos diferentes tocados simultaneamente. Os raios luminosos do espectro visível, que têm comprimento de onda entre 380 nm e 780 nm, incidem na córnea, passam pelo cristalino e são projetados na retina. Na retina, encontram-se dois tipos de fotorreceptores, os cones e os bastonetes, que convertem a cor e a intensidade da luz recebida em impulsos nervosos. Os cones distinguem as cores primárias: vermelho, verde e azul, e os bastonetes diferenciam apenas níveis de intensidade, sem separar comprimentos de onda. Os impulsos nervosos produzidos são enviados ao cérebro por meio do nervo óptico, para que se dê a percepção da imagem.

Um indivíduo que, por alguma deficiência, não consegue captar as informações transmitidas pelos cones, perceberá um objeto branco, iluminado apenas por luz vermelha, como

A) um objeto indefinido, pois as células que captam a luz estão inativas.

B) um objeto rosa, pois haverá mistura da luz vermelha com o branco do objeto.

C) um objeto verde, pois o olho não consegue diferenciar componentes de cores.

D) um objeto cinza, pois os bastonetes captam luminosidade, porém não diferenciam cor.

E) um objeto vermelho, pois a retina capta a luz refletida pelo objeto, transformando-a em vermelho.

02. (Enem–2006) No Brasil, verifica-se que a Lua, quando está na fase Cheia, nasce por volta das 18 horas e se põe por volta das 6 horas. Na fase Nova, ocorre o inverso: a Lua nasce às 6 horas e se põe às 18 horas, aproximadamente. Nas fases Crescente e Minguante, ela nasce e se põe em horários intermediários. Sendo assim, a Lua na fase ilustrada na figura a seguir poderá ser observada no ponto mais alto de sua trajetória no céu por volta de

A) meia-noite.
B) três horas da madrugada.
C) nove horas da manhã.
D) meio-dia.
E) seis horas da tarde.

03. (Enem–2002) Um grupo de pescadores pretende passar um final de semana do mês de setembro, embarcado, pescando em um rio. Uma das exigências do grupo é que, no final de semana a ser escolhido, as noites estejam iluminadas pela Lua o maior tempo possível. A figura representa as fases da Lua no período proposto. Considerando-se as características de cada uma das fases da Lua e o comportamento desta no período delimitado, pode-se afirmar que, dentre os fins de semana, o que melhor atenderia às exigências dos pescadores corresponde aos dias

A) 08 e 09 de setembro.
B) 15 e 16 de setembro.
C) 22 e 23 de setembro.
D) 29 e 30 de setembro.
E) 06 e 07 de outubro.

04. (Enem–2001)

SEU OLHAR

Gilberto Gil, 1984

Na eternidade
Eu quisera ter
Tantos anos-luz
Quantos fosse precisar
Pra cruzar o túnel
Do tempo do seu olhar

Gilberto Gil usa na letra da música a palavra composta anos-luz. O sentido prático, em geral, não é obrigatoriamente o mesmo que na ciência. Na Física, um ano-luz é uma medida que relaciona a velocidade da luz e o tempo de um ano e que, portanto, se refere à(ao)

A) tempo.
B) aceleração.
C) distância.
D) velocidade.
E) luminosidade.

GABARITO

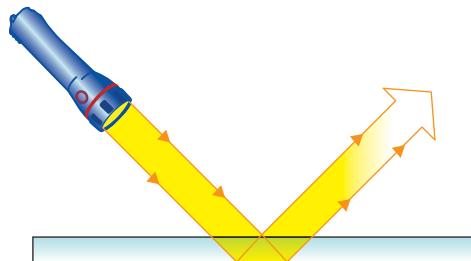
Fixação

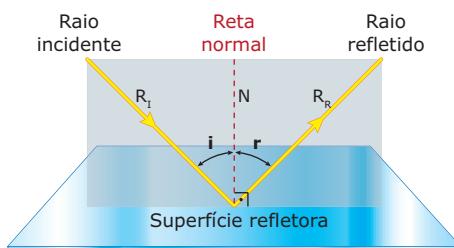
01. A
02. B
03. E
04. C
05. E

Propostos

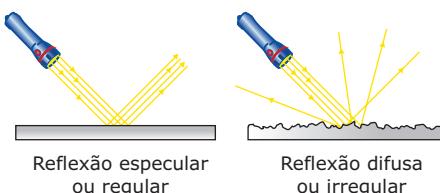
01. A
02. C
03. C
04. E
05. A
06. A
07. D
08. A
09. D
10. D
11. E
12. C
13. B
14. B
15. D
16. D

Seção Enem

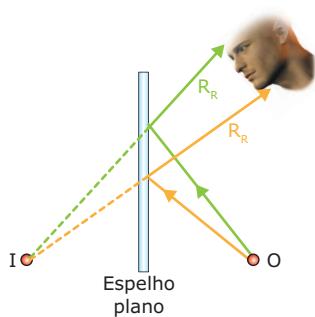
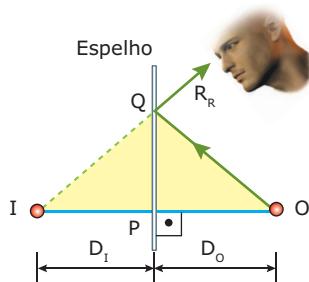
01. D
02. E
03. D
04. C

FÍSICA

Reflexão da luz e espelhos planos

MÓDULO 02 FRENTE C

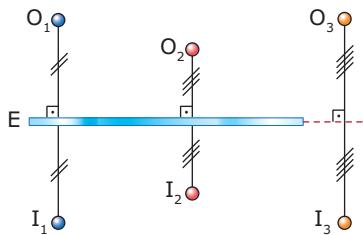
REFLEXÃO DA LUZ

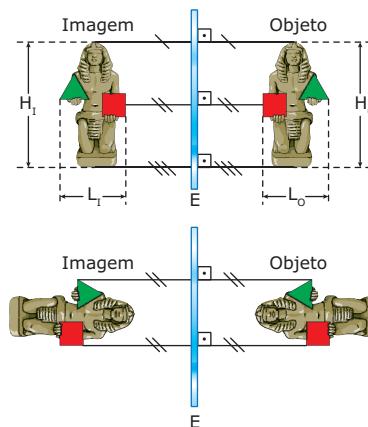
A reflexão é o fenômeno luminoso pelo qual a luz, após atingir uma superfície, continua no mesmo meio de propagação inicial. A reflexão é um fenômeno físico muito presente em nosso cotidiano e é responsável pela visão que temos dos objetos que nos cercam, tanto no que se refere à sua forma como também à sua cor. Conforme visto anteriormente, enxergamos os objetos, fontes secundárias de luz, pela luz que eles refletem. Além disso, a utilização dos espelhos só é possível devido à reflexão. A figura a seguir mostra a luz de uma lanterna que sofre reflexão ao atingir um espelho. Observe, com atenção, que a parte **de trás** do espelho é a superfície refletora (a parte da frente é um vidro transparente). Neste estudo, vamos considerar, exceto quando for especificado o contrário, que os nossos espelhos têm espessura desprezível. Assim, a reflexão vai ocorrer na face que recebe a luz.

A reflexão sofrida pela luz é regida por duas leis, chamadas Leis da Reflexão. Considere um raio luminoso que chega à superfície refletora, chamado de raio incidente (R_I). No ponto de incidência, traçamos uma reta imaginária, perpendicular à superfície, chamada de reta normal (N). O raio que continua no meio inicial de propagação, após ser refletido na superfície, é chamado de raio refletido (R_R). Considere que **i** seja o ângulo entre o raio incidente e a normal à superfície (ângulo de incidência). Seja **r** o ângulo entre o raio refletido e a normal (ângulo de reflexão). Veja a figura a seguir.

Leis da Reflexão:

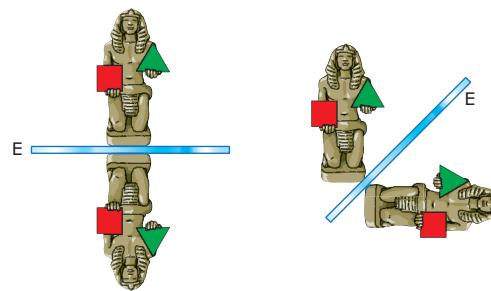
- 1ª Lei: $\mathbf{R_I}$, **N** e $\mathbf{R_R}$ são coplanares (estão sempre contidos no mesmo plano).
- 2ª Lei: Os ângulos de incidência e de reflexão são sempre congruentes (**i** = **r**).

Quando a luz incide sobre uma superfície, ela pode ser refletida de duas maneiras diferentes, conforme representado a seguir. Na primeira figura, a reflexão é chamada de **especular** (ou regular) e ocorre em superfícies polidas, como um espelho ou uma lâmina de água parada. Na outra figura, a reflexão é **difusa** (ou irregular) e acontece quando a luz atinge superfícies rugosas, tais como uma parede, uma folha de caderno ou o rosto de uma pessoa. Esse tipo de reflexão permite que você possa enxergar e ler o texto impresso nas páginas deste livro de qualquer posição que olhar, pois a luz refletida pelas páginas difunde-se (espalha) em todas as direções.

Na figura anterior, à esquerda, você percebe claramente que as duas Leis da Reflexão são obedecidas. Agora, pense e responda: as duas Leis da Reflexão valem na reflexão difusa (figura da direita)?

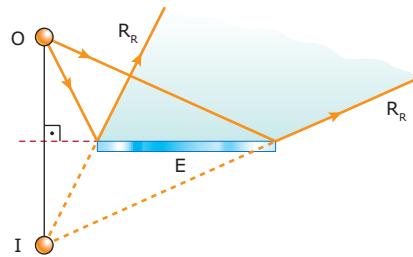
ESPELHO PLANO

Neste estudo, vamos trabalhar apenas com objetos **reais**, que são corpos que não são formados por prolongamentos dos raios de luz (refletidos ou refratados). Assim, inicialmente, serão aqueles corpos colocados à **frente** dos dispositivos ópticos. Um espelho plano é uma superfície plana e polida que reflete a luz de forma regular. Na figura a seguir, representamos um objeto pontual **O** à frente de um espelho plano vertical. Nela, estão representados dois raios de luz que partiram do objeto e incidiram no espelho. Os raios refletidos pelo espelho foram traçados levando-se em conta as Leis da Reflexão. Os raios refletidos pelo espelho não se cruzam e, portanto, são divergentes. Assim, devemos traçar o que chamamos de prolongamento do raio refletido, um segmento de reta na direção do raio refletido e no sentido oposto a ele.

Observe que os prolongamentos dos raios refletidos (traços pontilhados) se encontram no ponto **I**, atrás do espelho. Esse ponto corresponde à imagem do objeto, formada pelo espelho. Um observador, diante do espelho, enxerga essa imagem porque seus olhos recebem os raios de luz como se estes estivessem saindo da imagem **I**. Toda imagem de um objeto real formada por **prolongamentos** de raios **refletidos** é chamada de imagem **virtual**. Uma imagem desse tipo não pode ser projetada em uma tela, pois ela não tem existência física real (nenhuma luz chega, de fato, onde está a imagem). A figura a seguir mostra um dos raios de luz refletidos pelo espelho. Os triângulos destacados (OPQ e IPQ) são congruentes, e as suas bases são iguais (IP = OP). Veja que a linha azul (OPI) é perpendicular ao espelho – linha de simetria. Em todo espelho plano, o objeto e a sua imagem estão sobre a **linha de simetria**. Dessa forma, não é necessário desenhar os raios incidentes e refletidos para localizar a imagem.

Assim, podemos destacar três fatos importantes a respeito da imagem formada pelo espelho plano:

1. A imagem é sempre virtual.
2. O objeto e a imagem estão sobre uma linha perpendicular ao espelho (linha de simetria).
3. A distância do objeto ao espelho ($\mathbf{D_O}$) é igual à distância da imagem ao espelho ($\mathbf{D_I}$).

Veja a seguir a posição das imagens (**I**) de alguns objetos (**O**) colocados à frente de um espelho plano (**E**).

Observe, na figura anterior, que o objeto O_3, mesmo estando em uma região "fora do espelho", teve sua imagem I_3 formada sobre a linha de simetria e à mesma distância do espelho que o objeto O_3. Assim, todo objeto colocado na parte anterior de um espelho plano tem sua imagem formada por este. Se o objeto for extenso, cada ponto dele terá uma imagem formada sobre a linha de simetria e à mesma distância do espelho que o ponto objeto.

Veja, a seguir, a imagem de um boneco formada por um espelho colocado na vertical. O boneco carrega uma caixa quadrada (vermelha) e outra triangular (verde) nas mãos direita e esquerda, respectivamente. Sejam $\mathbf{H_O}$ e $\mathbf{H_I}$ as alturas e $\mathbf{L_O}$ e $\mathbf{L_I}$ as larguras do boneco e da sua imagem. Vamos colocar o boneco de duas maneiras: primeiro, paralelo ao espelho e, depois, perpendicular a este.

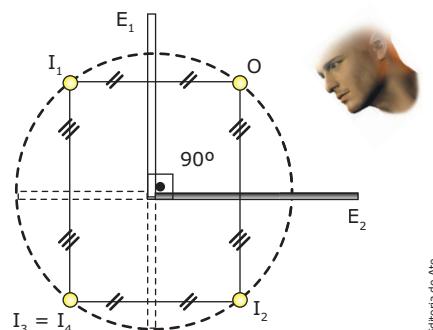
Observe que as linhas de simetria nos permitem determinar as imagens de cada ponto do objeto, à mesma distância que cada um deles se encontra do espelho. Assim, podemos concluir que em todo espelho plano, colocado na **vertical**,

1. as dimensões do objeto e da imagem são iguais e independentes das distâncias ($H_I = H_O$ e $L_I = L_O$).
2. a direção vertical da imagem e do objeto não sofre inversão – a imagem formada é **DIRETA** (boneco e imagem de cabeça para cima).
3. a imagem é simétrica, em relação ao objeto, nas direções horizontais (inversão lateral direito-esquerda e inversão de profundidade).

Se o espelho estiver na **horizontal** ou **inclinado**, as duas últimas conclusões não se aplicam. Assim, quando for o caso, convém você determinar a imagem (usando a simetria) e analisar cada caso. Veja as figuras a seguir.

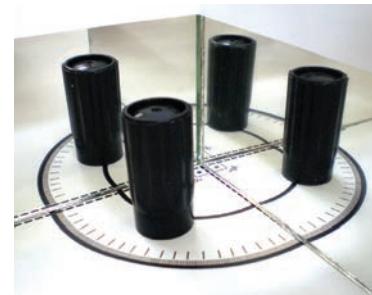
Campo visual do espelho plano

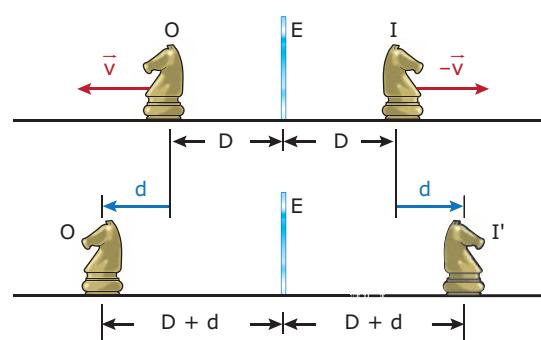
Outro ponto importante diz respeito ao campo visual do espelho plano, que é definido como a região onde um observador deve se posicionar para poder enxergar a imagem de um objeto fixo. Esse campo pode ser encontrado traçando-se os raios incidentes, originados do objeto, e os respectivos raios refletidos nas duas extremidades do espelho, conforme ilustrado na figura a seguir. A região **azul**, compreendida entre o espelho (**E**) e os dois raios refletidos ($\mathbf{R_R}$), representa o campo visual do espelho para o objeto **O** da figura. De qualquer lugar dessa região, o observador pode ver a imagem do objeto. Estando fora dela, o observador não verá a imagem, embora esta continue a existir na mesma posição de simetria. Para facilitar o traçado dos raios refletidos, convém desenhar a imagem (**I**), na linha de simetria, e traçar um seguimento de reta passando pela imagem e pelas extremidades do espelho.

Em algumas situações, o observador está fixo, enquanto queremos saber a região onde um ou mais objetos devem ser colocados para que o observador possa enxergar as suas imagens. A determinação dessa região é feita de forma semelhante ao caso anterior. Traçamos dois raios de luz incidentes e dois raios de luz refletidos, tendo como base as extremidades do espelho e o observador (ao invés do objeto). Ou seja, determinamos a "imagem do observador" por simetria. A região entre o espelho e os raios refletidos corresponderá ao local onde qualquer objeto deverá ser colocado para que a sua imagem possa ser vista por aquele observador fixo.

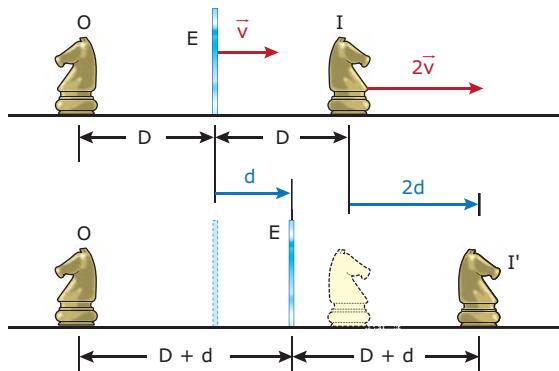
Associação de espelhos planos

Quando dois espelhos planos, $\mathbf{E_1}$ e $\mathbf{E_2}$, são postos frente a frente, segundo um ângulo θ (em graus), a imagem $\mathbf{I_1}$ de um objeto (**O**), formada pelo espelho $\mathbf{E_1}$, se comporta como objeto para o prolongamento do espelho $\mathbf{E_2}$ e vice-versa. Assim, os dois espelhos produzem múltiplas imagens. O número total (**N**) de imagens formadas pelos dois espelhos é dado por:

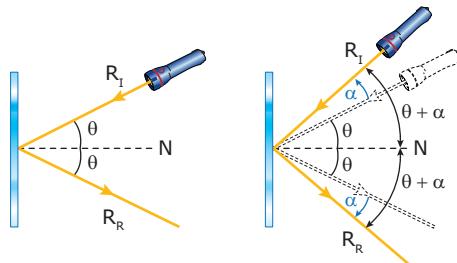
$$N = \frac{360}{\theta} - 1$$

Observe que,

1. se $360°/\theta$ for par, para qualquer posição do objeto entre os espelhos, o observador verá **N** imagens.
2. se $360°/\theta$ for ímpar, o observador verá **N** imagens apenas se o objeto estiver equidistante dos espelhos.

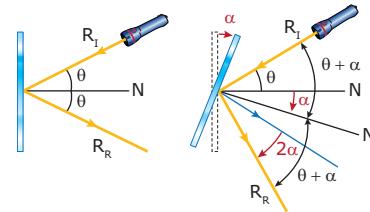
Para $\theta = 90°$, temos 3 imagens ($360/90 - 1 = 3$). Elas estão representadas na figura a seguir. Observe que as imagens e o objeto estão numa circunferência cujo centro coincide com o ponto comum entre os espelhos. Veja, ainda, que as imagens $\mathbf{I_3}$ e $\mathbf{I_4}$ são coincidentes e, portanto, enxergamos apenas uma delas.

Veja, a seguir, uma foto das imagens formadas pelos espelhos.

Imagens formadas em espelhos conjugados.

Translação e rotação de objetos e espelhos

Considere um objeto colocado a uma distância **D** de um espelho plano (**E**). Se o objeto for deslocando de uma distância **d**, sendo aproximado ou afastado do espelho, com velocidade constante **v**, a sua imagem se desloca da mesma quantidade. Veja a seguir que a simetria da imagem nos garante isso.

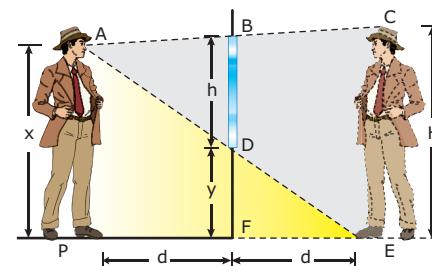
FÍSICA

Analisando a figura anterior, chegamos a duas conclusões importantes:

1. A imagem e o objeto se deslocam, em relação ao espelho, ao mesmo tempo e na mesma quantidade. Assim, eles têm velocidades de mesmo módulo **v** em relação ao espelho, porém de sentidos opostos. Logo, a velocidade da imagem, em relação ao objeto, terá módulo igual a **2v.**

2. A imagem **virtual** se desloca, em relação ao dispositivo óptico, da mesma forma que o objeto. Ou seja, se o objeto se **afasta** (ou se aproxima) do espelho, a imagem também se **afasta** (ou se aproxima) do espelho. Isso vale para qualquer imagem **virtual** (inclusive nos futuros casos), sendo essa uma informação útil que deve ser memorizada.

Agora, vamos considerar que o espelho foi deslocado. Considere um objeto colocado a uma distância **D** de um espelho plano (**E**). Se o espelho for deslocado de uma distância **d**, se aproximando ou se afastando do objeto, a imagem do objeto será deslocada de **2d**. Veja a seguir. Na primeira figura, a distância objeto-imagem é: OI = D + D = 2D. Na segunda, a distância objeto-imagem é: OI' = (D + d) + (D + d) = 2D + 2d. Assim, a distância entre as imagens (deslocamento da imagem) é a diferença entre as medidas anteriores, ou seja, **2d**. Veja ainda que, se a velocidade do espelho em relação ao objeto é $\vec{\mathbf{v}}$, a velocidade da imagem em relação ao espelho tem módulo **v**, mas em relação ao objeto tem módulo **2v**.

Se um raio de luz incide sobre um espelho, formando um ângulo θ com a normal, ele é refletido, formando o mesmo ângulo com a normal (2ª Lei da Reflexão). Isso nos permite concluir que, se o raio incidente gira em relação ao espelho de um ângulo α, o raio refletido gira do mesmo ângulo α. Assim, os raios incidente e refletido giram com a mesma velocidade angular. Veja a seguir.

Se o espelho gira, em relação à luz incidente, de um ângulo α, o raio refletido gira o dobro desse ângulo, ou seja, o raio refletido gira de um ângulo 2α. Veja a seguir. O ângulo entre os raios incidente e refletido (δ_1), na primeira figura, é igual a $\delta_1 = \theta + \theta$, ou seja, $\delta_1 = 2\theta$. Após girar o espelho de α (a normal também gira de α), os ângulos de incidência e de reflexão passam para $\theta + \alpha$, cada um.

Assim, o ângulo (δ_2) entre os raios incidente e refletido, na segunda figura, será $\delta_2 = (\theta + \alpha) + (\theta + \alpha) = 2\theta + 2\alpha$. A diferença entre δ_2 e δ_1 corresponde ao ângulo que o raio refletido gira, ou seja: $\delta_2 - \delta_1 = (2\theta + 2\alpha) - (2\theta) = 2\alpha$. Logo, se o espelho gira com velocidade angular ω, o raio refletido gira com velocidade angular 2ω.

O fato anterior tem uma aplicação prática muito importante. Alguns aparelhos de medição, que usam ponteiros que se deslocam numa escala, têm afixado no ponteiro um pequeno espelho plano. Um feixe de luz incide no espelho e o raio refletido é projetado sobre o zero de uma escala. Quando o ponteiro gira, indicando funcionamento, o raio refletido pelo espelho gira o dobro desse valor e se desloca bastante, indicando a leitura a ser efetuada. Isso permite que a sensibilidade do aparelho seja ajustada de acordo com a necessidade.

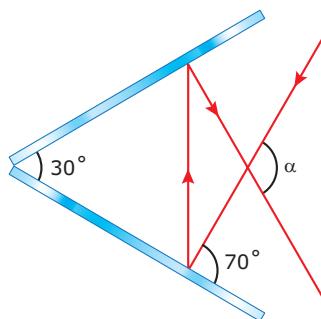
EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Um rapaz, usando chapéu, tem altura H e encontra-se diante de um espelho plano preso em uma parede vertical. A distância entre os olhos do rapaz e o chão mede x. Qual tamanho mínimo do espelho, e em que posição este deve ficar, para permitir ao rapaz enxergar a imagem completa de seu corpo?

Resolução:

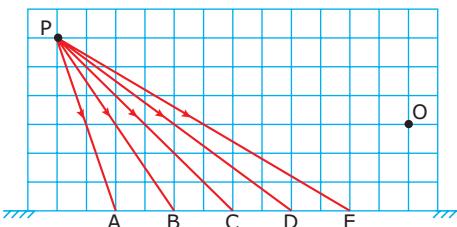
A figura a seguir representa o espelho de tamanho mínimo h (segmento BD), o rapaz de altura H (em linha cheia) e a sua imagem (em linha tracejada). O espelho foi posicionado na parede de forma a permitir que o rapaz, visando os pontos B e D, possa ver a imagem do chapéu e dos seus pés, respectivamente. Lembre-se de que as distâncias da imagem e do rapaz ao espelho (d) são iguais, e que a altura (H) do rapaz e de sua imagem também são iguais. Na figura, **A** representa os olhos.

Seja y a distância da base inferior do espelho até o chão. Na figura anterior, temos:

- Triângulos **ABD** e **ACE** semelhantes.

  BD/CE = d/2d ⇒ h/H = d/2d ⇒ **h = H/2**
- Triângulos **EDF** e **EAP** semelhantes.

  DF/AP = d/2d ⇒ y/x = d/2d ⇒ **y = x/2**

Assim, podemos concluir que o tamanho mínimo do espelho é igual à metade da altura do rapaz (**H/2**), e que o espelho deve ser colocado de forma que sua base fique distante do solo de um valor igual à metade do valor da distância dos olhos do rapaz até o chão (**x/2**). Vale observar, também, que esse resultado é **independente** da distância que o rapaz se encontra do espelho.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (UFMG) Observe a figura:

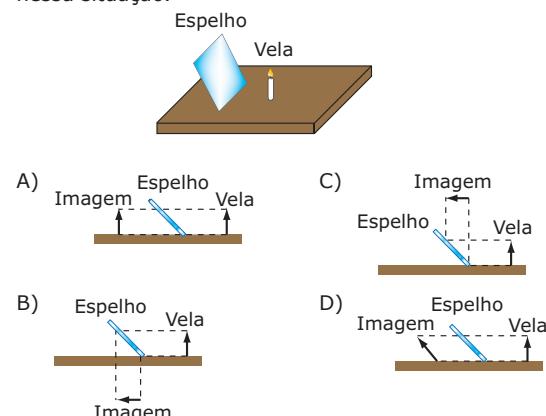
Nessa figura, dois espelhos planos estão dispostos de modo a formar um ângulo de 30º entre eles. Um raio luminoso incide sobre um dos espelhos, formando um ângulo de 70º com a sua superfície. Esse raio, depois de se refletir nos dois espelhos, cruza o raio incidente, formando um ângulo α de

A) 90º.

B) 100º.

C) 110º.

D) 120º.

E) 140º.

02. (UEL-PR) Um observador O vê a imagem de um objeto P refletida num espelho plano horizontal. A figura mostra um feixe de raios luminosos que partem de P. O raio que atinge o observador O é

A) PAO.

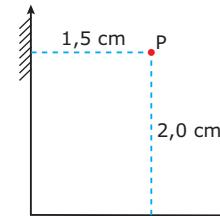
B) PBO.

C) PCO.

D) PDO.

E) PEO.

03. (UFMG–2006) Uma vela está sobre uma mesa, na frente de um espelho plano, inclinado, como representado na figura a seguir.

Assinale a alternativa cujo diagrama representa **CORRETAMENTE** a formação da imagem do objeto nessa situação.

04. (UFSCar-SP–2008) Considere um espelho plano e um observador, à sua frente, apoiados verticalmente sobre o solo horizontal. A respeito do espelho e da imagem daquele observador, conjugada pelo espelho, analise as afirmações a seguir.

I. A imagem é virtual, tem as mesmas dimensões do observador e é simétrica deste em relação ao espelho.

II. Se o observador se aproximar do espelho com velocidade de 10 m/s, a sua imagem vai afastar-se do espelho com velocidade de mesmo módulo.

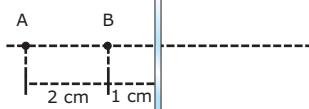
III. O campo visual do espelho, para o observador, independe da posição e da distância do seu olho em relação ao espelho.

IV. Para o observador enxergar a imagem de todo o seu corpo, as alturas do espelho e do observador devem ser iguais.

V. Se o observador cair de costas, com a cabeça se afastando do espelho, a sua imagem gira de 90° em relação à imagem anterior.

O número de afirmações **CORRETAS** e pertinentes é

A) 01. B) 02. C) 03. D) 04. E) 05.

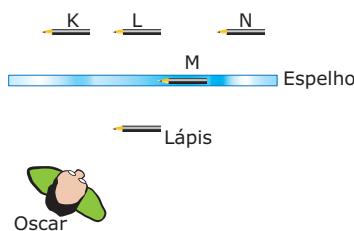
05. (UFAL–2006) Entre dois espelhos planos, perpendiculares entre si, coloca-se um objeto P a 1,5 cm de um deles e a 2,0 cm do outro, como representa a figura.

O número de imagens que se obtém e a distância do objeto à imagem mais afastada, em cm, valem, respectivamente,

A) 2 e 3.

B) 2 e 4.

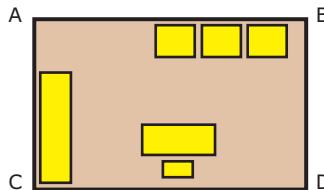
C) 3 e 3.

D) 3 e 4.

E) 3 e 5.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (UFAL–2008) A figura a seguir ilustra um espelho plano e dois pontos, A e B, situados ao longo da linha perpendicular ao espelho. A distância do ponto B à imagem do ponto A é igual a

A) 6 cm. B) 5 cm. C) 4 cm. D) 3 cm. E) 2 cm.

02. (UFMG) Oscar está na frente de um espelho plano, observando um lápis, como representado na figura.

Com base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que Oscar verá a imagem desse lápis na posição indicada pela letra

A) K. B) L. C) M. D) N.

(FCMMG)
Instrução: As questões **03** e **04** referem-se à figura e ao enunciado a seguir.

A figura representa a planta baixa de uma sala de espera de um consultório médico retangular (ABCD) de 3,0 m de comprimento por 2,0 m de largura.

Para que a sala tenha uma aparência mais ampla, o médico mandou revestir a parede AB com um espelho plano. Uma pessoa se encontra parada no canto D.

03. Essa pessoa verá o canto C, através do espelho, distando dela de, aproximadamente,

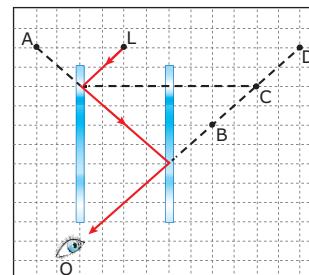
A) 3,0 m. C) 4,0 m.
B) 3,6 m. D) 5,0 m.

04. A pessoa, olhando para a parede AB, que contém o espelho, vê o símbolo desenhado a seguir, que representa a logomarca do médico.

Para que tal fato ocorra, o médico teve de afixar sobre a parede CD um cartaz com esse símbolo desenhado na seguinte forma:

A) C)
B) D)

05. (PUC Minas) João e Mário, que têm ambos a altura de 1,60 m, encontram-se diante de um espelho plano. João está a 1,0 m de distância do espelho e Mário, a 4,0 m. Qual o tamanho da imagem de Mário (M) comparado com a imagem de João (J)?

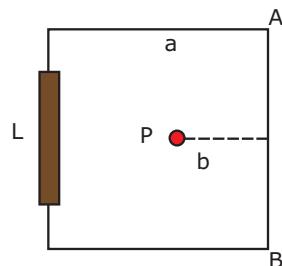
A) M é quatro vezes J
B) M é duas vezes J
C) M é igual a J
D) M é um meio de J
E) M é um quarto de J

06. (PUCPR) Piero, que utiliza seu relógio na mão esquerda, coloca-se a três metros de um espelho plano. O garoto levanta a mão esquerda. Analise as afirmações a seguir:

I. Piero vê sua imagem a seis metros de si.
II. A imagem é invertida, isto é, está com os pés para cima.
III. A imagem levanta a mão que não possui relógio.
IV. A imagem tem a mesma altura do garoto.

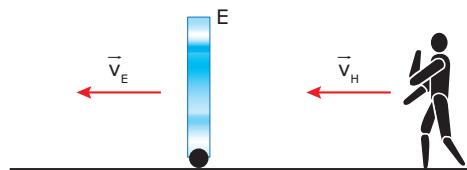
Assinale a única alternativa **CORRETA**.

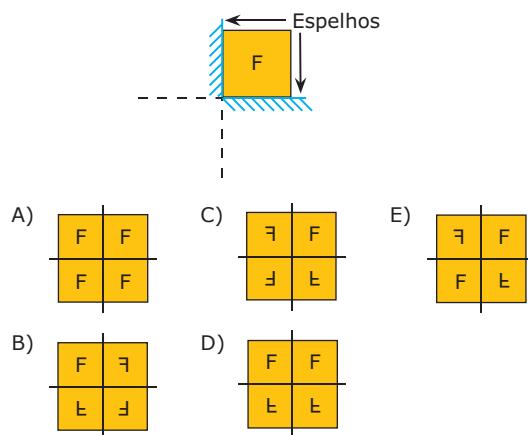
A) Apenas I C) Apenas II E) II e IV
B) I e IV D) I e III

07. (FCMMG–2009) Um sistema óptico é constituído por dois espelhos planos paralelos, como na figura. Uma pequena lâmpada L, colocada entre os dois espelhos, é vista pelo observador O, através dos dois espelhos. A imagem da lâmpada será formada no ponto

A) A. B) B. C) C. D) D.

08. (Mackenzie-SP–2008) Certa pessoa possui um espelho plano retangular, de 90 cm de altura. Quando ela fica em pé diante do espelho, disposto verticalmente e convenientemente posicionado, consegue ver sua imagem de corpo inteiro. Nessas condições, pode-se afirmar que a referida pessoa tem a altura máxima de

A) 1,80 m. C) 1,67 m. E) 1,35 m.
B) 1,70 m. D) 1,53 m.

09. (FAAP-SP) Com três bailarinas colocadas entre dois espelhos planos fixos, um diretor de cinema consegue uma cena onde são vistas, no máximo, 24 bailarinas. O ângulo entre os espelhos vale

A) 10°. B) 25°. C) 30°. D) 45°. E) 60°.

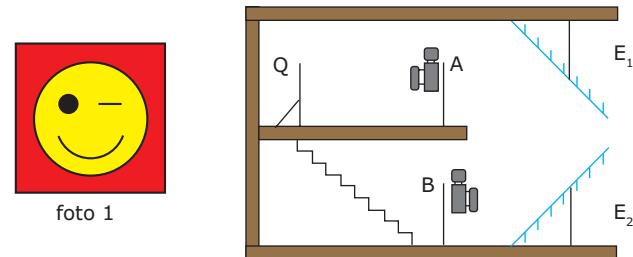
10. (UFES) Num salão quadrado, de lado **a**, o cabeleireiro se encontra no ponto P, defronte de um espelho plano vertical, preso no meio da parede AB. Se a distância do cabeleireiro à parede é **b**, qual deve ser a largura mínima do espelho de modo que ele possa visualizar toda a largura **L** da porta de entrada, às suas costas?

A) $\frac{L.b}{a}$

B) $\frac{L.b}{a-b}$

C) $\frac{L.b}{a+b}$

D) $\frac{L.(a-b)}{b}$

E) $\frac{L.(a+b)}{b}$

11. (Unimontes-MG) Um homem caminha, com velocidade de módulo v_H = 3 m/s em relação ao solo, em direção a um espelho plano vertical E, o qual também se move com velocidade de módulo v_E = 4 m/s em relação ao solo (veja a figura). O módulo da velocidade da imagem, em relação ao homem, é

A) 1 m/s.

B) 3 m/s.

C) 2 m/s.

D) 4 m/s.

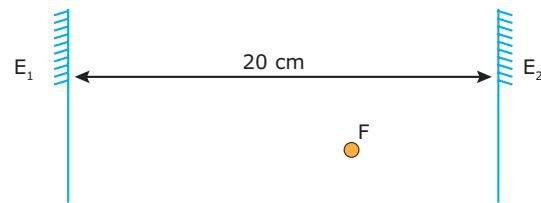
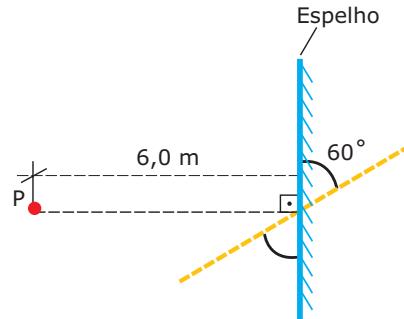
12. (FUVEST-SP) Na figura, F indica um ladrilho colocado perpendicularmente a dois espelhos planos que formam um ângulo reto. Assinale a alternativa que corresponde às três imagens formadas pelos espelhos.

13. (FUVEST-SP–2006) Em uma exposição, organizada em dois andares, foi feita uma montagem com dois espelhos planos, E_1 e E_2, dispostos a 45º entre os andares, como na figura. Uma visitante, quando no andar superior, no ponto A, fotografa um quadro (Q), obtendo a foto 1, tal como vista no visor.

foto 1

Essa visitante, ao descer as escadas, fotografa, no ponto B, o mesmo quadro através dos espelhos. A nova foto, tal como vista no visor, é

A)

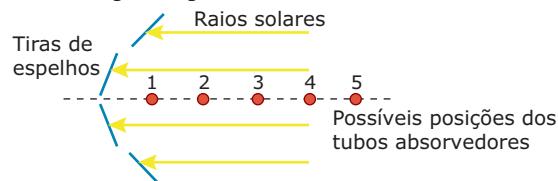
B)

C)

D)

E)

14. (UFF-RJ) Dois espelhos planos paralelos, E_1 e E_2, estão frente a frente, separados pela distância de 20 cm. Entre eles, há uma fonte luminosa F, de pequenas dimensões, na posição indicada na figura. **CALCULE** a distância entre a primeira imagem fornecida pelo espelho E_1 e a primeira imagem fornecida pelo espelho E_2.

15. (UFRRJ) A figura a seguir mostra um objeto pontual P que se encontra a uma distância de 6,0 m de um espelho plano.

Se o espelho for girado de um ângulo de 60° em relação à posição original, como mostra a figura, qual a distância entre P e a sua nova imagem?

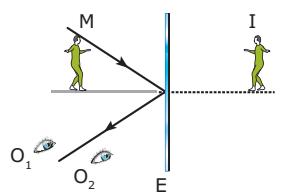
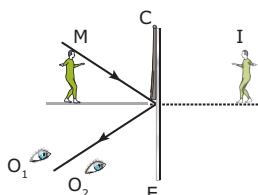
SEÇÃO ENEM

01. Para reduzir o aquecimento global da Terra, a geração de energia por queima de combustíveis fósseis deve ser reduzida. Por isso, nos próximos anos, a utilização da energia solar deverá aumentar muito em localidades com alta taxa de insolação. Um sistema muito eficiente para captar essa energia é o coletor concentrador, mostrado a seguir, que converge os raios solares, através de espelhos cilíndricos, para tubos absorvedores cheios de água.

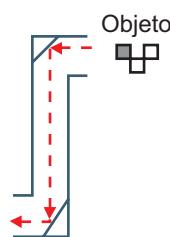
Para baratear a fabricação do espelho concentrador, uma empresa utiliza quatro longas "tiras" de espelhos planos montadas paralelamente ao tubo absorvedor, conforme mostra a figura seguinte.

Para que ocorra uma maior absorção dos raios solares, o tubo absorvedor deverá ficar na posição

A) 1. B) 2. C) 3. D) 4. E) 5.

02. Numa apresentação de circo, um equilibrista (M) faz uma apresentação sobre um cabo de aço esticado na horizontal, a 5,0 m do solo. Um grande espelho plano, colocado na vertical, permite que o artista e os observadores O_1 e O_2, colocados nas posições indicadas nas figuras a seguir, vejam a imagem (I) do equilibrista conforme indicado na figura 1. Dessa forma, o artista se aproxima e se afasta do espelho com facilidade, pois ele pode ver a imagem do cabo de aço por meio do espelho. Num determinado momento, o diretor de cena manda baixar uma espessa cortina opaca (C), que cobre toda a metade superior do espelho, conforme a figura 2.

Apesar da colocação da cortina, uma imagem completa de todo o corpo do malabarista continua a ser formada pelo espelho. A imagem formada pelo espelho poderá ser vista

A) apenas pelo observador O_1, e este enxerga a imagem completa do corpo do malabarista.

B) apenas pelo observador O_2, e este enxerga a imagem completa do corpo do malabarista.

C) apenas pelo observador O_1, e este enxerga apenas a metade da imagem do malabarista.

D) apenas pelo observador O_2, e este enxerga apenas a metade da imagem do malabarista.

E) pelos dois observadores, sendo que O_1 enxerga apenas a parte inferior da imagem.

03. O periscópio é um acessório fundamental dos submarinos, usado para captar imagens acima da água. Também teve largo uso em guerras, para observar o movimento inimigo de dentro das trincheiras. Um periscópio básico utiliza dois espelhos paralelos, a certa distância um do outro. Os espelhos devem estar num ângulo de 45°, pois, caso contrário, a imagem não ficará perfeita. Os raios luminosos atingem o primeiro espelho, que os reflete para o segundo espelho, e daí são novamente refletidos para o visor. O trajeto completo da luz possui a forma aproximada da letra "Z", em que por uma das extremidades, a luz refletida pelos corpos a serem observados entra, e, pela outra, ela atinge os olhos do observador, possibilitando que este veja o que, a princípio, estaria fora do seu alcance de visão.

Soldado britânico utilizando um periscópio numa trincheira durante a Batalha de Gallipoli.

A figura a seguir mostra um objeto diante do periscópio.

Das opções seguintes, a que corresponde à imagem formada pelo periscópio é

A) B) C) D) E)

GABARITO

Fixação

01. D 02. D 03. B 04. C 05. E

Propostos

01. C	05. C	09. D	13. A
02. B	06. B	10. C	14. D = 40 cm
03. D	07. D	11. C	15. d = 6,0 m
04. C	08. A	12. C	

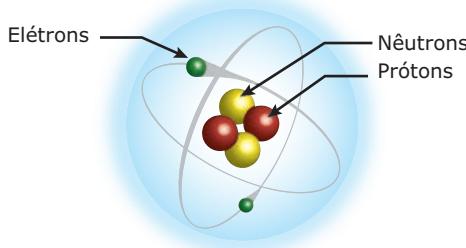
Seção Enem

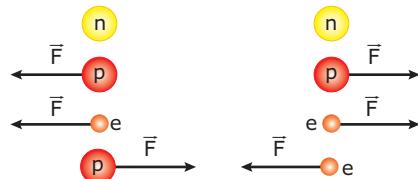
01. A 02. E 03. A

FÍSICA

Eletrização

MÓDULO 01 FRENTE D

Seria difícil imaginar a vida atual sem a eletricidade, sem a iluminação, o computador e a Internet, o carro e outros. Sem coisas simples, como o "choque" que você leva ao tocar a maçaneta da porta num dia seco. Para entender a importância de tudo isso, convido você ao **"Mundo da Eletricidade"**.

Os primeiros fenômenos elétricos foram observados antes de Cristo. O filósofo grego Tales notou que o âmbar (espécie de resina natural), depois de atritado em tecido, atraía corpos leves.

Aproximadamente dois mil anos depois, cientistas como Coulomb, Ampère e outros descobriram os princípios fundamentais da Eletricidade. Nestes, encontramos a existência da **carga elétrica** – propriedade inerente a algumas partículas –, que é a razão de ser da Eletricidade.

Vamos começar o nosso estudo com a **Eletrostática** – parte da Eletricidade na qual as cargas elétricas não apresentam movimentos ordenados, exceto em um curto intervalo de tempo.

A CARGA ELÉTRICA

Você sabe, com base na Química, que a matéria é formada por átomos. Estes possuem prótons, elétrons e, geralmente, nêutrons. Colocadas próximas umas às outras, as partículas podem interagir ou não entre si. A figura a seguir mostra um átomo de hélio.

O que acontece entre cada par de diferentes partículas, se colocadas a uma mesma distância? Veja.

Observe que surge uma força atuando nos prótons e nos elétrons, mas não nos nêutrons. Observe também que todas as forças da figura anterior têm o mesmo módulo, o que nos permite concluir que

1. os prótons e os elétrons têm alguma propriedade que o nêutron não possui.
2. como as forças possuem o mesmo módulo, a propriedade tem de ter mesmo valor para o próton e para o elétron.

Tal propriedade é a **carga elétrica** (Q). Como existe repulsão entre partículas de mesmo nome e atração entre próton e elétron, concluímos que suas cargas devem ter alguma diferença. Por isso, os cientistas convencionaram que a carga do próton é **positiva** e a do elétron é **negativa**. Logo, o nêutron não tem carga elétrica.

O próton e o elétron têm cargas de mesmo valor absoluto, o qual chamaremos de **carga elementar** (**e**).

O valor aproximado da carga elementar é:

$$e = 1{,}6 \times 10^{-19}\ C$$

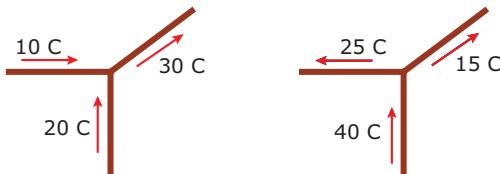
A unidade de medida de carga elétrica, no SI, é o **coulomb** (**C**), em homenagem ao cientista francês Charles de Coulomb (1736-1806).

Em seu estado natural, os átomos apresentam o mesmo número de prótons e de elétrons. Portanto, a carga total dos átomos é **zero**. Assim, para apresentarem comportamento elétrico, é necessário retirar ou fornecer elétrons a eles. Pode acontecer de o átomo ganhar ou perder prótons. Mas, como isso é raro, vamos considerar que os corpos trocam, entre si, apenas elétrons.

Uma constatação importante é a de que só podemos retirar ou fornecer ao átomo (ou a um objeto) um número inteiro de elétrons. Não é possível, por exemplo, retirar ½ elétron ou fornecer ¾ de elétrons ao átomo. Assim, dizemos que a carga do átomo ou de qualquer objeto carregado (eletrizado), é **quantizada**. Ou seja, a carga (Q) pode apresentar inúmeros valores distintos, mas todos, sem exceção, são múltiplos inteiros da carga elementar (e).

$$Q = n.e \Rightarrow Q = n.(1{,}6 \times 10^{-19})$$

$$n = \ldots, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \ldots$$

Sendo que **n** é o saldo elétrico do objeto, que depende do número de elétrons fornecidos ou retirados desse objeto.

Dois corpos eletrizados com cargas de **sinais opostos** exercem, entre si, forças de **atração**. Quando estão eletrizados com carga de **mesmo sinal**, as forças são de **repulsão**.

A tabela mostra os valores aproximados da carga, da massa de repouso e da massa relativa do elétron, do próton e do nêutron.

Partículas	Carga elétrica (C)	Massa (kg)	Massa relativa
Elétron	$-1{,}602 \times 10^{-19}$	$9{,}109 \times 10^{-31}$	1
Próton	$1{,}602 \times 10^{-19}$	$1{,}673 \times 10^{-27}$	$1{,}84 \times 10^3$
Nêutron	0	$1{,}675 \times 10^{-27}$	$1{,}84 \times 10^3$

Um fato importante que você precisa conhecer é o **Princípio da Conservação das Cargas Elétricas**. Ele estabelece que, num sistema fechado, a soma algébrica das cargas é constante no tempo. Assim, considerando um sistema composto por dois corpos isolados (sistema fechado), se um deles, por algum evento, perde certa quantidade de carga, o outro ganha a mesma quantidade. Ou seja, **a soma total das cargas, antes e depois do evento, é a mesma**.

Considere os fios, que são parte de um circuito elétrico, e através dos quais flui, num certo intervalo de tempo, certa quantidade de carga. Assim, você pode observar, nas figuras a seguir, o Princípio da Conservação das Cargas Elétricas. Observe que a quantidade de carga que entra e que sai do ponto de junção dos fios (nós) é a mesma.

CONDUTORES E ISOLANTES (OU DIELÉTRICOS)

Um material condutor permite que haja fluxo de cargas através dele, sem muita dificuldade. Para isso, ele deve possuir cargas livres em sua estrutura ou ter facilidade de obtê-las.

Os condutores podem ser

1. **sólidos** (metais e a grafite), nos quais as partículas que se deslocam através deles são os **elétrons**.
2. **líquidos** (soluções iônicas), nos quais os **íons** positivos e os negativos percorrem a solução em sentidos opostos.
3. **gases** (quando ionizados), nos quais temos movimento de **elétrons** e de **íons** positivos e negativos.

O meio isolante (ou dielétrico), quando tal, impede que um fluxo significativo de cargas passe através da sua estrutura. Ele também pode ser sólido, líquido ou gasoso. A borracha é um exemplo típico de isolante (ou dielétrico). Em condições normais, a borracha e outros isolantes, como o vidro e a madeira, não possuem cargas elétricas livres que possam se deslocar através deles.

A definição de condutor e isolante não é absoluta. É importante que você saiba que todos os isolantes, exceto o **vácuo**, podem conduzir eletricidade dependendo das condições a eles impostas. Isso poderá ser verificado no módulo que abordará o campo elétrico.

ELETRIZAÇÃO

Em seu estado natural, a matéria é neutra, porque ela é formada por átomos neutros. Eletrizar a matéria significa alterar esse equilíbrio de cargas, tornando-a carregada positiva ou negativamente. Esse desequilíbrio é obtido retirando ou fornecendo elétrons aos átomos.

Quando retiramos elétrons de um corpo, ele fica eletrizado (ou carregado) **positivamente**, pois o número de prótons, que não é alterado, fica superior ao número de elétrons. Ao contrário, quando fornecemos elétrons a um corpo, este fica eletrizado **negativamente**, porque o número de prótons fica inferior ao número de elétrons.

Um corpo pode ser eletrizado de três maneiras diferentes: por atrito, por contato ou por indução.

Eletrização por atrito

Quando dois corpos são atritados, essa atividade realiza um trabalho sobre os elétrons, facilitando sua transferência do corpo de menor tendência a atrair elétrons para o corpo de maior tendência a atrair elétrons.

Quando eletrizados por atrito, os corpos ficam carregados com cargas de sinais **opostos**, pois o corpo que **perdeu** os elétrons fica carregado **positivamente**, enquanto o que os **ganhou** fica eletrizado **negativamente**. Os **módulos** das cargas adquiridas pelos dois corpos são **iguais**, pois o número de elétrons que um corpo perdeu é igual ao número de elétrons que o outro ganhou.

Conheça cinco observações sobre eletrização por atrito:

1. Durante o atrito, apenas elétrons são trocados entre os corpos, continuando os prótons e os nêutrons presos ao núcleo atômico.
2. Corpos feitos do mesmo material não se eletrizam por atrito, pois ambos apresentam igual tendência de atrair elétrons.
3. Os elétrons que se transferem de um corpo a outro são **apenas** uma pequena parte do total de elétrons que o corpo possui. Na maioria das vezes, o corpo perde poucos dos seus elétrons.
4. Um condutor pode ser eletrizado por atrito desde que você o segure com algum material que seja isolante. Se não o fizer, quase a totalidade das cargas que ele adquire vai para o seu corpo e ele fica praticamente descarregado.
5. Um mesmo corpo pode ser eletrizado positiva ou negativamente, dependendo do material com o qual foi atritado. A tabela a seguir, chamada Série Triboelétrica, mostra uma sequência de alguns materiais. Qualquer deles, atritado com outro que esteja à sua **esquerda**, ficará **negativamente** eletrizado. Se atritado com um que esteja à sua **direita**, vai se tornar **positivamente** carregado.

Série Triboelétrica					
vidro	seda	cabelo	pele humana	algodão	borracha

Observe, na figura a seguir, um bastão de borracha sendo atritado em um tecido de seda. Note que o bastão de borracha ficou eletrizado negativamente e a seda, positivamente.

Muitos fatos do cotidiano são explicados pela eletrização por atrito. Por exemplo, uma blusa de seda, quando usada em um dia seco, se "agarra" à nossa pele ao ser retirada do corpo. De acordo com a tabela anterior, qual o sinal da carga elétrica da blusa de seda? E a da pele de nosso corpo? **Não** é necessário memorizar a sequência da tabela anterior.

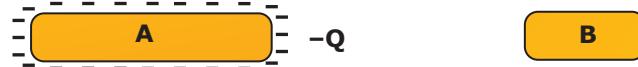
Faça você mesmo a experiência a seguir, se o dia não estiver úmido.

Rasgue um punhado de pedacinhos de papel e os coloque sobre uma mesa. Pegue um pente ou uma régua de plástico e esfregue, rápida e vigorosamente, em seus cabelos. Aproxime a régua dos pedacinhos de papel. Você percebeu que eles foram atraídos para a régua?

Editoria de Arte

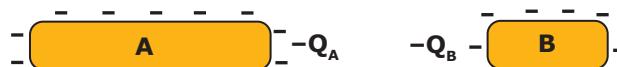
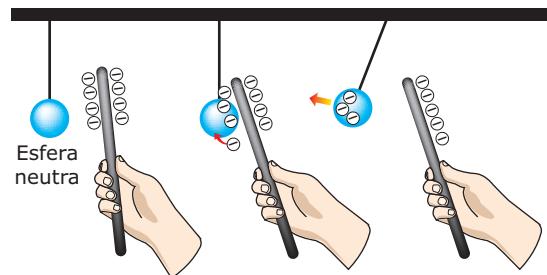
CURIOSIDADE

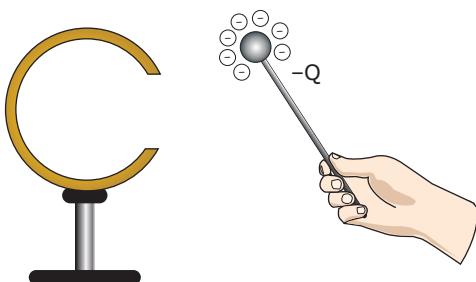
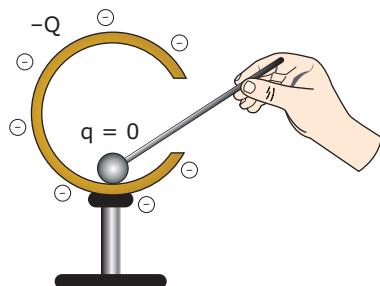
Você sabe por que uma faísca elétrica pode, durante uma tempestade, "rasgar" uma árvore ao meio? Fácil! Veja: a faísca transporta, através da árvore, uma grande quantidade de carga elétrica de mesmo sinal, além de muita energia. Assim, a descarga elétrica provoca o aumento da pressão interna da árvore, devido ao aumento de temperatura, e faz com que partes adjacentes da árvore sofram a ação de forças repulsivas de grande intensidade, devido a grande quantidade de carga elétrica de mesmo sinal que a árvore adquire. Se a árvore não suportar tal força, ela se parte.

Assim, quem tem cabelo comprido deve evitar penteá-lo por muito tempo. O pente e o cabelo ficam eletrizados com cargas de sinais contrários. Porém, os fios de cabelo terão cargas de mesmo sinal e irão se repelir. Isso pode "quebrar" as pontas dos cabelos, da mesma forma que a árvore é "rasgada".

Um balão de borracha atritado em algodão, por exemplo, fica eletrizado. Observe na fotografia a seguir o que acontece ao aproximarmos um balão eletrizado dos cabelos de uma garota.

SXC

Eletrização por contato

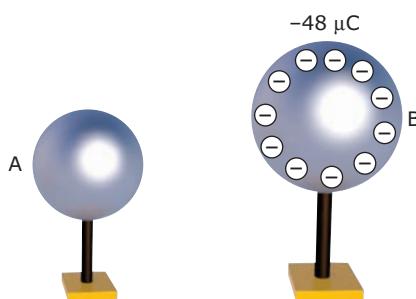
A eletrização por contato ocorre, de forma mais eficaz, nos condutores. Neles, as cargas tendem a ficar na superfície externa – posição nas quais elas estão o **mais distante** possível umas das outras.

Considere os condutores A e B, da figura anterior, separados e distantes um do outro. O corpo A está eletrizado com carga –Q, e o objeto B está neutro. Quando colocados em contato, as cargas ficam na superfície externa do sistema formado por A e B, conforme a figura a seguir. Observe que a carga total do sistema continua igual a –Q.

Separando-se os objetos, por uma pequena distância, cada um deles fica com a carga ($-Q_A$ e $-Q_B$) que estava distribuída em sua superfície, conforme mostrado a seguir. Observe que as cargas vão para as extremidades opostas, por causa da repulsão entre elas.

Se os objetos forem colocados bem distantes um do outro, as cargas de cada um distribuem-se pela sua respectiva superfície, de modo, novamente, a ficarem o mais distante possível umas das outras. Veja a seguir.

Observe, na figura seguinte, um bastão com cargas negativas que se aproxima de uma bolinha de latão até tocá-la. No contato, ambos ficam eletrizados com carga negativa. Assim, após o contato, a bolinha é repelida pelo bastão.

Dois casos, envolvendo **condutores esféricos**, merecem a sua atenção.

FÍSICA

Contato interno

Temos uma esfera metálica, oca, com uma abertura que permite que um objeto seja introduzido em seu interior. Considere, nessa situação, que ela esteja descarregada. Uma pessoa pega uma vareta isolante, que tem na sua extremidade uma esfera condutora carregada com uma carga (–Q), conforme a figura.

A pessoa leva a esfera eletrizada a tocar o interior da esfera oca, em qualquer lugar desta. Já que as cargas tendem a ficar o mais distante possível umas das outras, **toda** a carga da esfera interior se transfere para o exterior da esfera maior, conforme mostrado adiante.

Essa é uma boa forma de você, com certeza, neutralizar totalmente um objeto que estava carregado.

Contato externo

Vamos considerar duas esferas metálicas, A e B, apoiadas sobre suportes isolantes, bem distantes uma da outra, conforme a figura seguinte. O raio da esfera B é o dobro do raio da esfera A. A esfera A está neutra, enquanto a esfera B se encontra eletrizada negativamente com uma carga Q_B = –48 μC.

Sendo condutora, é natural que os elétrons em excesso na esfera B estejam uniformemente distribuídos sobre a sua superfície, pois assim eles ficarão com o maior afastamento possível uns dos outros.

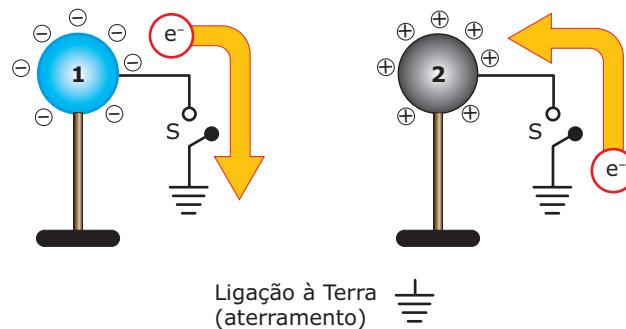
Se colocadas em contato, haverá transferência de uma quantidade de elétrons da esfera B para a esfera A, pois os elétrons em excesso encontrarão uma situação de maior afastamento ainda.

Como a esfera B é maior do que a esfera A, ela possui uma maior capacidade de armazenar cargas. Por isso, a carga final na esfera B será maior do que na esfera A.

A carga final de cada corpo, quando forem esféricos, é proporcional ao raio de cada esfera. Após o contato, sendo $R_B = 2R_A$, temos que as cargas de B e A serão Q_B = –32 μC e Q_A = –16 μC.

Note que a soma das cargas finais continua igual à carga total inicial (–48 μC), ou seja, o Princípio da Conservação das Cargas Elétricas foi respeitado.

Fica evidente que, para esferas do mesmo tamanho, a carga total inicial se divide igualmente entre elas, após o contato.

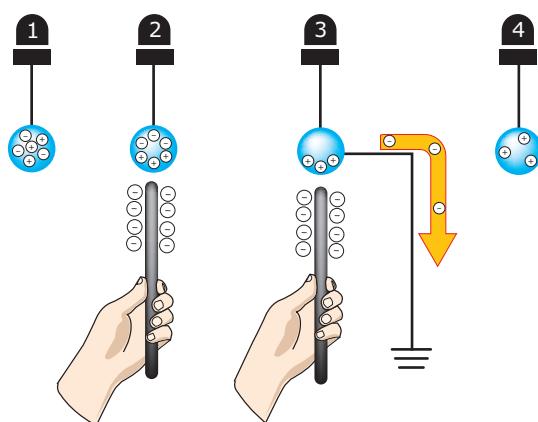
Um fato não tão evidente assim, porém importante, é que a divisão de cargas (citada anteriormente) **não** depende do material do qual as esferas são feitas. Basta que elas sejam condutoras.

Saiba quatro características da eletrização por contato:

1. Se a esfera B estivesse eletrizada positivamente, as cargas finais de A e B seriam Q_A = 16 μC e Q_B = 32 μC. Nesse caso, a esfera A iria transferir uma quantidade de elétrons para a esfera B. A esfera A ficaria com carga positiva por ter perdido esses elétrons.
2. Após o contato entre corpos condutores eletrizados, estes adquirem cargas de mesmo sinal, sendo que o corpo de maior capacidade armazenará a maior carga.
3. Se ambos estão previamente eletrizados, a carga de cada um deles, após o contato, terá o sinal da carga daquele que tiver maior carga inicial em módulo. Se a soma das cargas iniciais for zero, as cargas finais dos corpos serão iguais a zero, independentemente do tamanho deles.
4. A eletrização por contato ocorre também entre corpos dielétricos. Porém, a troca de cargas se faz apenas no ponto onde os corpos se tocam, pois, sendo isolantes, a carga não pode se deslocar ao longo deles.

A combinação dos processos de eletrização por atrito e por contato nos permite compreender mais alguns fatos interessantes observados no dia a dia. Um caminhão em movimento adquire carga elétrica devido ao atrito com o ar. Essa carga se acumula na lataria do caminhão, que está isolada do chão pelos pneus de borracha. Se a quantidade de carga acumulada for elevada, poderá ocorrer uma centelha elétrica entre o caminhão e o ar. Para evitar essa centelha, alguns caminhões arrastam uma corrente pelo chão. O contato da corrente com o chão permite que a carga adquirida pelo caminhão seja transferida para a Terra.

Comparando os tamanhos do caminhão e do planeta Terra, conclui-se que a carga se transfere, **integralmente** (aproximação tão eficiente que pode ser considerada como fato verdadeiro), para a Terra.

A seguir, tem-se dois corpos eletrizados a serem colocados em contato com a Terra.

Ligação à Terra (aterramento)

Ligando-se a chave S, haverá um fluxo de elétrons da

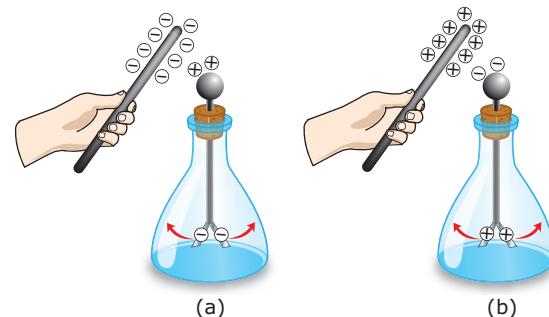
1. esfera 1 para a Terra, descarregando a esfera.
2. Terra para a esfera 2, neutralizando a sua carga.

Eletrização por indução (ou influência)

Veja a figura a seguir. Ela mostra as etapas da eletrização por indução.

A esfera condutora, conforme a figura 1, está inicialmente neutra (possui cargas positivas e negativas em quantidades iguais). Um bastão eletrizado negativamente se aproxima da esfera, **sem tocá-la** (Figura 2). Alguns elétrons, repelidos pelo bastão, deslocam-se para a extremidade oposta. Apesar de as cargas positivas e negativas estarem separadas, a esfera continua neutra (carga total zero).

Para, de fato, eletrizar a esfera, vamos ligá-la à Terra por meio de um fio condutor. Os elétrons, repelidos pelo bastão, fluem para a Terra (Figura 3).

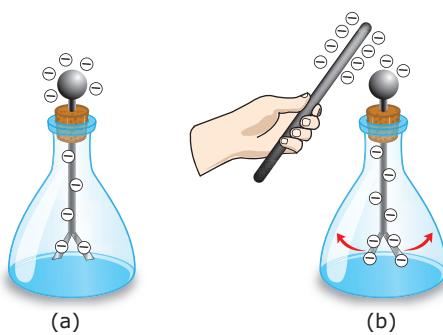
Agora, é importante a sequência das operações. Primeiro, desfaz-se a ligação à Terra (os elétrons que fluíram para a Terra não mais podem voltar). Em seguida, afasta-se o bastão (Figura 4).

Veja que a esfera fica eletrizada positivamente, com as cargas distribuídas uniformemente em sua superfície.

Conheça as principais características da eletrização por indução:

1. O corpo que provoca a indução (o bastão, no exemplo anterior) é chamado de **indutor** e sua carga **não** é afetada pelo processo.
2. O objeto que foi eletrizado (a esfera, no caso anterior), chamado de **induzido**, tem sinal de carga final sempre **oposto** ao sinal da carga do indutor.
3. Apenas objetos condutores podem ser eletrizados, de forma efetiva, por indução.
4. Não confundir o simples fenômeno da indução com o processo de eletrização por indução. A esfera do exemplo citado está **induzida** logo que o bastão se aproxima dela – figura 2 (veja que as cargas estão separadas). Ou seja, induzir um objeto é fazer com que haja uma separação de cargas nesse objeto devido à aproximação de um corpo eletrizado.

ELETROSCÓPIO DE FOLHAS

O eletroscópio de folhas, cujo princípio de funcionamento se baseia na indução eletrostática, é um aparelho usado para verificar se os objetos estão eletrizados. Ele é constituído de uma esfera metálica, uma haste condutora e duas folhas metálicas leves. As folhas ficam dentro de uma garrafa transparente para se evitar perturbações causadas, por exemplo, pelo vento.

(a) (b)

Considere um eletroscópio neutro. Se você aproxima da esfera um bastão eletrizado negativamente, este vai repelir alguns elétrons da esfera, fazendo com que esses elétrons se desloquem para as folhas metálicas. Assim, serão induzidas cargas positivas na esfera e negativas nas folhas, conforme a figura anterior. As folhas, com cargas de mesmo sinal, irão se repelir.

Se o bastão estiver positivo, serão induzidas cargas positivas nas folhas, pois o bastão vai atrair elétrons para a esfera. Da mesma forma que antes, as folhas, agora positivas, vão se abrir devido à repulsão entre elas.

Assim, você pode descobrir se o bastão está ou não eletrizado. Entretanto, não é possível descobrir o sinal de sua carga.

Uma situação diferente ocorre quando o eletroscópio está previamente carregado, com cargas cujo sinal conhecemos, conforme a próxima figura.

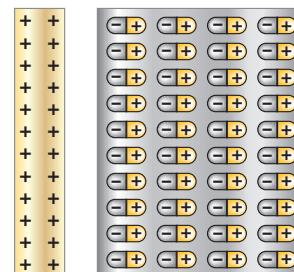
Considere, por exemplo, o eletroscópio carregado com cargas negativas – todo o seu corpo (esfera, haste e folhas) está eletrizado negativamente. Assim, as folhas estão abertas.

Vamos aproximar do eletroscópio um bastão carregado negativamente – mesmo sinal de carga do eletroscópio. O bastão irá repelir parte dos elétrons que estão na esfera do aparelho. Assim, devido ao aumento do número de elétrons nas folhas, a abertura destas torna-se maior.

Imagine, agora, o bastão carregado positivamente – sinal de carga oposta à do eletroscópio. Assim, o bastão irá atrair parte dos elétrons que estão nas folhas para a esfera, provocando uma diminuição na abertura das folhas ou mesmo o fechamento total delas.

Logo, se o eletroscópio estiver eletrizado, e soubermos o sinal de sua carga, é possível saber o sinal da carga do corpo indutor.

Concluindo:

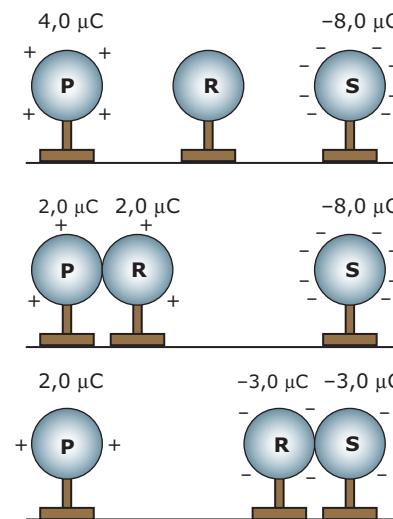
1. Se o bastão e o eletroscópio têm cargas de **mesmo sinal**, a abertura das folhas **aumenta**.
2. Se o bastão e o eletroscópio têm cargas de **sinais opostos**, as folhas **diminuem** a sua abertura.

POLARIZAÇÃO DE UM ISOLANTE (OU DIELÉTRICO)

Vimos, na indução, que os elétrons de um condutor, na presença de um corpo eletrizado, deslocam-se para uma das extremidades do objeto, de modo que o condutor fica induzido.

Em um isolante, não existe deslocamento significativo de elétrons ao longo do material. Sabemos, porém, que um objeto carregado (um pente atritado nos cabelos, por exemplo) é capaz de atrair objetos dielétricos (pedacinhos de papel, por exemplo).

Em um dielétrico de moléculas polares (água, por exemplo), sabemos, com base na Química, que existe, em cada uma das moléculas, uma separação natural de cargas. Assim, uma das extremidades da molécula é positiva e a outra, negativa.

Se o isolante apresenta moléculas apolares, a separação citada não existe. Entretanto, se colocado na presença de um corpo eletrizado (positivamente, por exemplo), as cargas negativas de suas moléculas serão atraídas e as positivas, repelidas pelo corpo. Logo, as suas moléculas vão adquirir uma **polarização**.

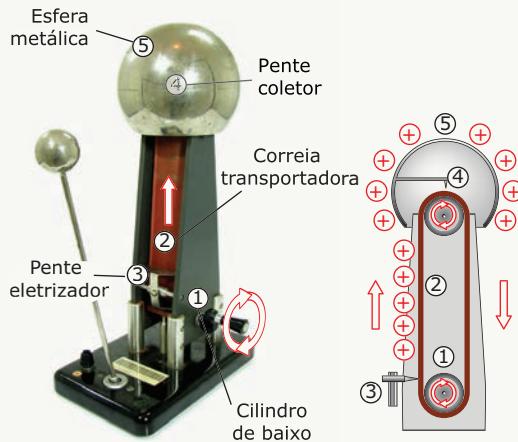
Se um corpo eletrizado aproxima-se de um dielétrico, seja ele polar ou apolar, haverá um alinhamento das moléculas do dielétrico na direção da força exercida pelo objeto eletrizado. Assim, as extremidades do isolante, que estão na direção do corpo carregado, terão cargas positivas e negativas, conforme mostrado na figura anterior.

Logo, dizemos que houve uma **polarização** do dielétrico (e não indução, pois não houve deslocamento de cargas).

EXERCÍCIO RESOLVIDO

01. Duas pequenas esferas metálicas idênticas, P e S, estão eletrizadas com cargas +4,0 μC e −8,0 μC, respectivamente. Uma terceira esfera R, idêntica às outras duas e inicialmente descarregada, é colocada em contato, primeiro, com a esfera P e, depois, com a esfera S. Todas as esferas estão presas a suportes isolantes. Determinar as cargas finais das esferas P, R e S, respectivamente.

Resolução:

As figuras a seguir mostram as esferas no início e após os referidos contatos. Você deve se lembrar de que as esferas, sendo idênticas, ficam com cargas iguais após cada contato.

Assim, as cargas finais das esferas são, respectivamente, Q_P = 2,0 μC, Q_R = −3,0 μC e Q_S = −3,0 μC.

Uma pergunta: você acha que o Princípio da Conservação das Cargas foi observado no contato entre as esferas?

LEITURA COMPLEMENTAR

O Gerador de Van de Graaff

O gerador de Van de Graaff é um instrumento muito usado em laboratórios de Eletricidade. Ele funciona com base na eletrização por atrito e por contato.

Veja a seguir uma fotografia e um esquema de um gerador de Van de Graaff.

O funcionamento do gerador é simples. Veja:

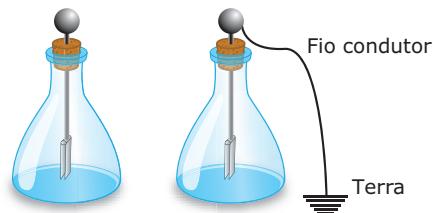
O cilindro de baixo (1) é posto a girar por uma manivela ou por um motor elétrico. Uma correia transportadora isolante (2) é atritada pelo pente eletrizador (3). Ela se carrega positivamente e transporta as cargas para o pente coletor (4), que é condutor. O pente coletor está em contato interno com a esfera metálica (5).

Você sabe que o pente (4), estando em contato interno com a esfera (5), transfere para ela toda a carga que recebe.

Assim, com o aparelho funcionando por certo tempo, a esfera adquire certa quantidade de carga. Se a esfera tiver raio de 1,0 m e estiver no ar, ela pode apresentar potenciais de até **três milhões** de volts.

Apesar disso, não haverá perigo se alguém tocar a superfície da esfera, pois o potencial é elevado, mas a quantidade de **carga** armazenada é **pequena** (próximo de $3{,}0 \times 10^{-4}$ C).

Veja como ficam os cabelos da garota em contato com a esfera do gerador.

SXC

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (UFRJ) Num certo instante t, ΣQ é igual à soma algébrica das cargas elétricas existentes numa certa região R, limitada por uma superfície fechada S. Sabendo-se que não há possibilidade de a superfície S ser atravessada por matéria, pode-se afirmar que

A) ΣQ aumenta no decorrer do tempo.
B) ΣQ diminui no decorrer do tempo.
C) ΣQ não aumenta nem diminui no decorrer do tempo.
D) ΣQ tanto pode aumentar como diminuir no decorrer do tempo.

02. (UFMG) Duas esferinhas metálicas, P e Q, suspensas por fios isolantes e próximas uma da outra, repelem-se.

Pode-se concluir, com certeza, que

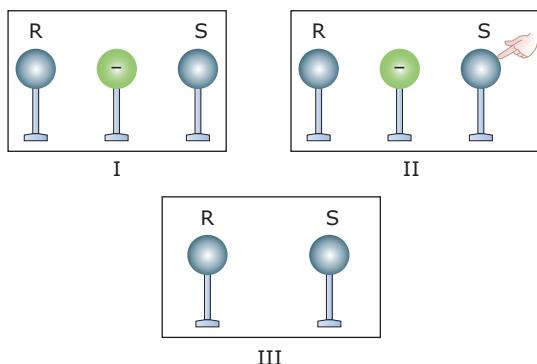
A) ambas têm cargas positivas.
B) ambas têm cargas negativas.
C) uma tem carga positiva e a outra, negativa.
D) uma tinha carga negativa e a outra, ao se aproximar dela, adquiriu carga positiva por indução.
E) ambas têm cargas de mesmo sinal, positivo ou negativo.

03. (UFMG) Um estudante atrita uma barra de vidro com um pedaço de seda e uma barra de borracha com um pedaço de lã. Ele nota que a seda e a lã se atraem, o mesmo acontecendo com o vidro e a borracha. O estudante conclui que esses materiais se dividem em dois pares que têm cargas do mesmo tipo.

Com base nesses dados, pode-se afirmar que

A) a conclusão do estudante está errada.
B) esses pares são o vidro com a borracha e a seda com a lã.
C) esses pares são o vidro com a lã e a seda com a borracha.
D) esses pares são o vidro com a seda e a borracha com a lã.

04. (EFOA-MG) As figuras a seguir ilustram dois eletroscópios. O da esquerda está totalmente isolado da vizinhança e o da direita está ligado à Terra por um fio condutor de eletricidade.

Das figuras a seguir, a que **MELHOR** representa as configurações das partes móveis dos eletroscópios, quando aproximarmos das partes superiores de ambos um bastão carregado negativamente, é

FÍSICA

05. (UFMG–2008) Durante uma aula de Física, o professor Carlos Heitor faz a demonstração de Eletrostática que se descreve a seguir.

Inicialmente, ele aproxima duas esferas metálicas, R e S, eletricamente neutras, de uma outra esfera isolante, eletricamente carregada com carga negativa, como representado na figura I. Cada uma dessas esferas está apoiada em um suporte isolante.

Em seguida, o professor toca o dedo, rapidamente, na esfera S, como representado na figura II.

Isso feito, ele afasta a esfera isolante das outras duas esferas, como representado na figura III.

I

II

III

Considerando-se essas informações, é **CORRETO** afirmar que, na situação representada na figura III,

A) a esfera R fica com carga negativa e a S permanece neutra.

B) a esfera R fica com carga positiva e a S permanece neutra.

C) a esfera R permanece neutra e a S fica com carga negativa.

D) a esfera R permanece neutra e a S fica com carga positiva.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (UFSM-RS) Considere as seguintes afirmativas:

I. Um corpo não eletrizado possui um número de prótons igual ao número de elétrons.

II. Se um corpo não eletrizado perde elétrons, passa a estar positivamente eletrizado e, se ganha elétrons, negativamente eletrizado.

III. Isolantes ou dielétricos são objetos que não podem ser eletrizados.

Está(ão) **CORRETA(S)**

A) apenas I e II.

B) apenas II.

C) apenas III.

D) apenas I e III.

E) I, II e III.

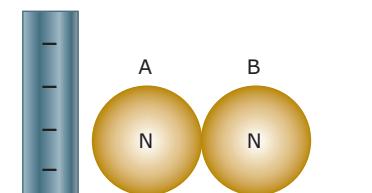
02. (UFSCar-SP) Considere dois corpos sólidos envolvidos em processos de eletrização. Um dos fatores que pode ser observado tanto na eletrização por contato quanto na por indução é o fato de que, em ambas,

A) torna-se necessário manter um contato direto entre os corpos.

B) deve-se ter um dos corpos ligado temporariamente a um aterramento.

C) ao fim do processo de eletrização, os corpos adquirem cargas elétricas de sinais opostos.

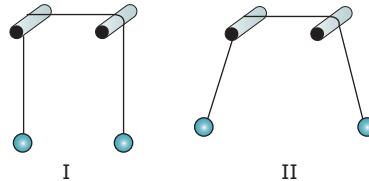
D) um dos corpos deve, inicialmente, estar carregado eletricamente.

E) para ocorrer, os corpos devem ser bons condutores elétricos.

03. (UFTM-MG–2007) Da palavra grega *elektron* derivam os termos eletrização e eletricidade, entre outros. Analise as afirmativas sobre alguns conceitos da Eletrostática.

I. A carga elétrica de um sistema eletricamente isolado é constante, isto é, conserva-se.

II. Um objeto neutro, ao perder elétrons, fica eletrizado positivamente.

III. Ao se eletrizar um corpo neutro, por contato, este fica com carga de sinal contrário àquele que o eletrizou.

É **CORRETO** o contido em

A) I, apenas.

B) I e II, apenas.

C) I e III, apenas.

D) II e III, apenas.

E) I, II e III.

04. (PUC RS–2009) Duas esferas condutoras A e B idênticas, eletricamente neutras (N), estão em contato uma com a outra e isoladas eletricamente de qualquer influência, a não ser quando se aproxima de uma delas uma barra eletricamente negativa. Enquanto a barra é mantida nessa posição, as esferas são separadas uma da outra. Se, na sequência, a barra for afastada das duas esferas, a carga elétrica dessas esferas resultará

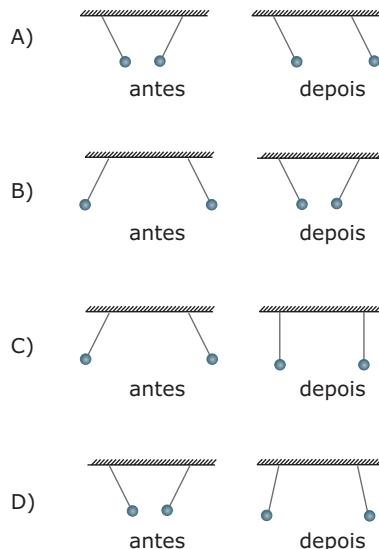
A) positiva, tanto para A quanto para B.

B) positiva para A e negativa para B.

C) negativa para A e positiva para B.

D) nula para as duas esferas, que permanecem neutras.

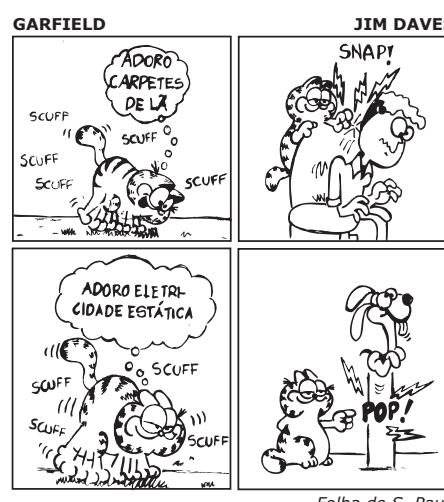
E) negativa para as duas esferas.

05. (UFT–2007) Durante uma aula de Física, o professor Cabral realiza este experimento: inicialmente, pendura duas esferas de metal, ligadas por um fio, em dois suportes cilíndricos isolantes, como mostrado na figura I.

Em seguida, ele transfere carga elétrica para uma das esferas e, depois disso, as duas assumem a posição mostrada na figura II. Questionados sobre o experimento, dois dos alunos emitiram observações diferentes:

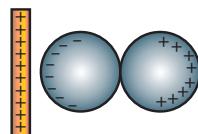
- Bernardo: "As esferas foram carregadas com cargas de sinais opostos."
- Rodrigo: "As esferas estão ligadas por um fio metálico."

Considerando-se o experimento descrito, é **CORRETO** afirmar que

A) apenas a observação de Bernardo está certa.
B) apenas a observação de Rodrigo está certa.
C) ambas as observações estão certas.
D) nenhuma das duas observações está certa.

06. (UFVJM-MG–2009) Penduram-se a fios de seda duas pequenas esferas condutoras idênticas. Tais esferas possuem, inicialmente, cargas elétricas iguais a $+q$ e $-3q$. As esferas são subitamente conectadas por um fio condutor fino, que é então removido. Nas duas situações, todo o sistema está imerso no vácuo. Considerando tais circunstâncias, assinale a alternativa que representa **CORRETAMENTE** as configurações antes e depois delas serem colocadas em contato.

07. (PUC Minas–2009) O eletroscópio de folhas ilustrado a seguir está carregado positivamente. Quando uma pessoa tocar a esfera, as lâminas a e b se fecharão indicando que

A) os nêutrons da pessoa passaram para o eletroscópio.
B) os prótons do eletroscópio passam para a pessoa.
C) passam-se elétrons da pessoa para o eletroscópio.
D) o calor da pessoa aqueceu as lâminas do eletroscópio, fazendo com que elas se fechassem.

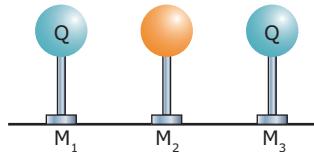
08. (PUC-SP) Leia com atenção a tira do gato Garfield mostrada a seguir e analise as afirmativas que se seguem.

Folha de S. Paulo

I. Garfield, ao esfregar suas patas no carpete de lã, adquire carga elétrica. Esse processo é conhecido como eletrização por atrito.

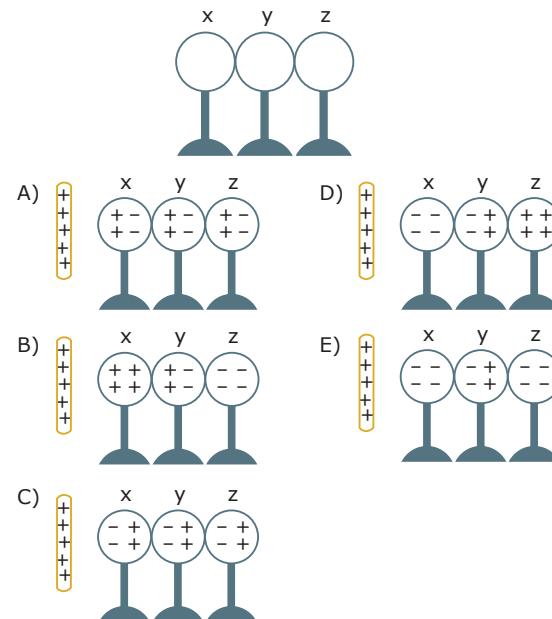
II. Garfield, ao esfregar suas patas no carpete de lã, adquire carga elétrica. Esse processo é conhecido como eletrização por indução.

III. O estalo e a eventual faísca que Garfield pode provocar, ao encostar em outros corpos, são devidos à movimentação da carga acumulada no corpo do gato, que flui de seu corpo para os outros corpos.

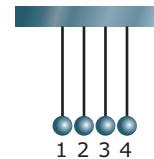
Está(ão) **CERTA(S)**

A) I, II e III.
B) I e II.
C) I e III.
D) II e III.
E) apenas I.

09. (FUVEST-SP) Aproximando-se uma barra eletrizada de duas esferas condutoras, inicialmente descarregadas e encostadas uma na outra, observa-se a distribuição de cargas esquematizada na figura a seguir.

Em seguida, sem tirar do lugar a barra eletrizada, afasta-se um pouco uma esfera da outra. Finalmente, sem mexer mais nas esferas, move-se a barra, levando-a para muito longe das esferas. Nessa situação final, a alternativa que **MELHOR** representa a distribuição de cargas nas duas esferas é:

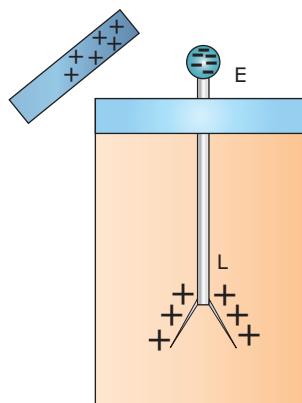
10. (FUVEST-SP–2008) Três esferas metálicas, M_1, M_2 e M_3, de mesmo diâmetro e montadas em suportes isolantes, estão bem afastadas entre si e longe de outros objetos.

Inicialmente, M_1 e M_3 têm cargas iguais, com valor Q, e M_2 está descarregada. São realizadas duas operações, na sequência indicada.

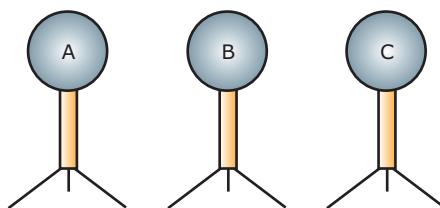
I. A esfera M_1 é aproximada de M_2 até que ambas fiquem em contato elétrico. A seguir, M_1 é afastada até retornar à sua posição inicial.

II. A esfera M_3 é aproximada de M_2 até que ambas fiquem em contato elétrico. A seguir, M_3 é afastada até retornar à sua posição inicial.

Após essas duas operações, as cargas nas esferas serão cerca de

	M_1	M_2	M_3
A)	Q/2	Q/4	Q/4
B)	Q/2	3Q/4	3Q/4
C)	2Q/3	2Q/3	2Q/3
D)	3Q/4	Q/2	3Q/4
E)	Q	zero	Q

11. (UEM-PR–2008) O diagrama a seguir ilustra três esferas neutras de metal, x, y e z, em contato entre si e sobre uma superfície isolada. Assinale a alternativa cujo diagrama **MELHOR** representa a distribuição de cargas das esferas quando um bastão carregado positivamente é aproximado da esfera x, mas não a toca.

12. (UFF-RJ–2010) A figura representa quatro esferas metálicas idênticas penduradas por fios isolantes elétricos.

O arranjo está num ambiente seco e as esferas estão inicialmente em contato umas com as outras. A esfera 1 é carregada com uma carga elétrica +Q.

Escolha a alternativa que representa a configuração do sistema depois de atingido o equilíbrio.

13. (UFMG) Um eletroscópio acha-se induzido, conforme a figura.

Ligando a esfera E à Terra, por meio de um fio condutor, observa-se que as lâminas L se fecham completamente porque

A) cargas positivas de L sobem e neutralizam a esfera E.

B) cargas positivas de E descem e neutralizam L.

C) cargas negativas de E escoam para a Terra, e cargas positivas sobem para E.

D) cargas negativas da Terra movem-se para o eletroscópio, neutralizando as lâminas.

E) cargas de E e de L escoam para a Terra.

14. (Fatec-SP–2008) Três esferas condutoras idênticas, A, B e C, estão sobre tripés isolantes. A esfera A tem inicialmente carga elétrica de 6,4 μC, enquanto B e C estão neutras.

Encostam-se as esferas A e B até o equilíbrio eletrostático e separam-se as esferas. Após isso, o procedimento é repetido, desta vez feito com as esferas B e C. Sendo a carga elementar $1{,}6 \times 10^{-19}$ C, o número total de elétrons que, nessas duas operações, passam de uma esfera a outra é

A) $1{,}0 \times 10^{13}$.

B) $2{,}0 \times 10^{13}$.

C) $3{,}0 \times 10^{13}$.

D) $4{,}0 \times 10^{13}$.

E) $8{,}0 \times 10^{13}$.

15. (UFAL–2009) Uma pequena esfera condutora E possui inicialmente carga Q. Tal esfera é posta em contato com outra esfera idêntica a ela, porém inicialmente neutra. Quando o equilíbrio eletrostático é atingido, as esferas são separadas. Esse processo ocorre N vezes em sequência, sempre colocando a esfera E em contato com uma outra esfera idêntica a ela, porém neutra, e afastando-as após o equilíbrio eletrostático ser atingido. Todo o processo ocorre no vácuo. No final, a esfera E possui carga Q/128. O valor de N é

A) 5.

B) 7.

C) 32.

D) 64.

E) 128.

SEÇÃO ENEM

01. Durante o voo, devido ao atrito com o ar, as abelhas se eletrizam positivamente. Ao pousar em uma flor, o corpo de uma abelha induz uma separação de cargas elétricas nos grãos de pólen da flor. Nessa condição, os grãos, apesar de continuarem neutros, são atraídos eletricamente pela abelha, e muitos saltam para o corpo do inseto.

De acordo com o texto anterior, é correto afirmar que os grãos de pólen, depois que chegam à abelha,

A) se eletrizam negativamente, aderindo ainda mais ao corpo do inseto, que, eletrizado positivamente, aumenta a atração elétrica sobre os grãos.

B) continuam neutros, com a mesma separação de cargas, de maneira que a força de atração elétrica do inseto sobre os grãos continua existindo.

C) continuam neutros, mas a separação de cargas desaparece, de maneira que a força de atração elétrica entre o inseto e os grãos desaparece.

D) se eletrizam positivamente, e são repelidos eletricamente pelo inseto, que os retém através de cerdas que revestem o seu corpo.

E) se eletrizam positivamente, e são repelidos eletricamente pelo inseto, caindo na terra logo depois que tocam no corpo do inseto.

02. O eletroscópio é um dispositivo usado para detectar se um corpo está eletricamente carregado e, em determinadas situações, pode ser útil para descobrir o sinal da carga desse corpo. O primeiro eletroscópio de que se tem notícia foi inventado por William Gilbert (1544-1603). Atualmente, o eletroscópio de folhas é bastante utilizado. Tal dispositivo consiste, basicamente, de uma esfera condutora presa a uma haste condutora, que tem na extremidade inferior duas folhas metálicas leves e flexíveis.

Considere um eletroscópio previamente eletrizado com carga –Q, de forma que todo o seu corpo (esfera, haste e folhas) apresente cargas negativas em excesso. Dessa forma, as folhas do eletroscópio estão afastadas por repulsão elétrica. À medida que um objeto metálico, carregado positivamente, com carga +Q, se aproxima da esfera do eletroscópio, sem tocá-la, as suas folhas se fecham cada vez mais. Isso acontece porque

A) o objeto atrai parte das cargas negativas que estão nas folhas do eletroscópio, essas sobem para a esfera e, dessa forma, a quantidade de cargas negativas nas folhas diminui.

B) o objeto repele parte das cargas positivas da esfera metálica, essas descem para as folhas e, dessa forma, vão neutralizando as cargas negativas ali existentes.

C) a carga total do sistema (eletroscópio-objeto) é igual a zero e, pelo Princípio de Conservação das Cargas, a carga do eletroscópio deve tender a zero.

D) as cargas negativas do eletroscópio vão se transferindo, gradualmente, para o objeto metálico e, dessa forma, a quantidade de cargas nas folhas diminui.

E) as cargas positivas do objeto metálico vão se transferindo, gradualmente, para o eletroscópio e, dessa forma, vão anulando as cargas contidas nas folhas, que tendem a se fechar.

GABARITO

Fixação

01. C
02. E
03. C
04. E
05. D

Propostos

01. A
02. D
03. B
04. B
05. B
06. D
07. C
08. C
09. A
10. B
11. D
12. C
13. D
14. C
15. B

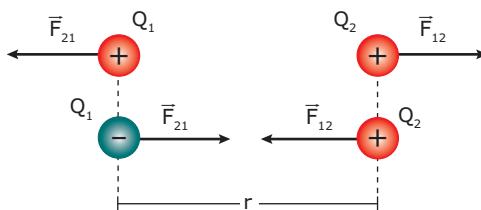
Seção Enem

01. D
02. A

FÍSICA

Força elétrica

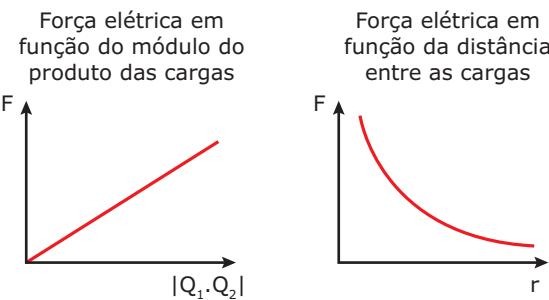
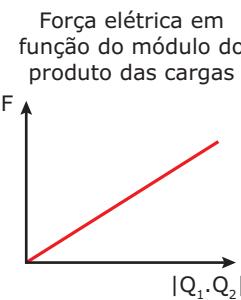
MÓDULO 02 FRENTE D

Você sabe que é difícil erguer um saco de 60 kg do chão. Ele é muito "pesado". Para levantá-lo, temos de vencer o seu peso (que é uma força gravitacional).

Neste módulo, serão estudadas as forças elétricas. Afinal de contas, quem é maior? As forças elétricas ou as gravitacionais?

Charles de Coulomb foi o primeiro cientista a estabelecer uma relação quantitativa para a força elétrica que atua em corpos eletrizados. Coulomb realizou medições das forças elétricas que atuavam sobre cargas puntiformes, ou pontuais (objetos carregados de tamanhos desprezíveis em comparação à distância entre eles).

Ele conseguiu determinar a relação entre a força elétrica e as demais variáveis, devido ao uso de uma balança de alta precisão. Tal instrumento, chamado balança de torção, será explicado mais adiante.

A LEI DE COULOMB

A figura a seguir representa duas cargas pontuais de valores $\mathbf{Q_1}$ e $\mathbf{Q_2}$, separadas por uma distância **r**.

Nela, $\mathbf{F_{12}}$ é o módulo da força que a carga Q_1 exerce sobre a carga Q_2, e $\mathbf{F_{21}}$ é o módulo da força que a carga Q_2 exerce sobre a carga Q_1.

Essas duas forças constituem um par de **ação e reação** e por isso, apresentam, sempre, o mesmo módulo, a mesma direção e sentidos opostos. Observe que a afirmação vale mesmo que as partículas tenham cargas de valores diferentes. Assim, vamos estabelecer que o módulo dessas forças vale **F**.

Coulomb concluiu que duas cargas puntiformes (ou pontuais) se atraem (ou se repelem) com uma força cujo módulo

1. é diretamente proporcional ao módulo do **produto das cargas**;
2. é inversamente proporcional ao **quadrado da distância** entre elas.

Veja os gráficos a seguir.

Força elétrica em função do módulo do produto das cargas

Força elétrica em função da distância entre as cargas

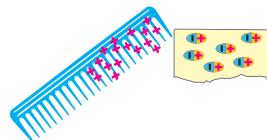
Coulomb chegou à seguinte expressão para determinar o módulo da força elétrica:

$$F = K\frac{|Q_1.Q_2|}{r^2}$$

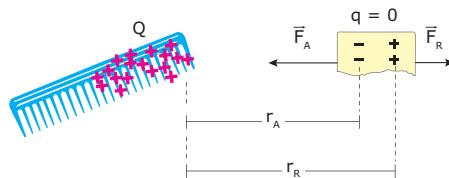
Na equação, **K**, que vamos chamar de constante da Lei de Coulomb, depende do meio no qual as cargas se encontram. Naturalmente, esse meio tem de ser dielétrico. Caso contrário, os objetos eletrizados perderiam sua carga elétrica através dele.

O vácuo é o meio que permite a **maior** força elétrica entre duas cargas, e a sua constante, chamada K_0, vale:

$$K_0 = 9{,}0 \times 10^9\ N.m^2/C^2$$

A quantidade de carga elétrica contida em objetos eletrizados do nosso cotidiano (por atrito, por contato ou por indução) é muito pequena. Ela é da ordem de 10^{-6} C a 10^{-3} C. Por outro lado, a quantidade de carga que passa através de aparelhos elétricos usuais é enorme. Um chuveiro elétrico, funcionando durante 20 minutos, é percorrido por uma quantidade de carga que varia de 24 000 C a 60 000 C.

Assim, é usual trabalhar com múltiplos e submúltiplos dessa grandeza. A tabela a seguir fornece os mais usuais deles.

Nome	Potência de 10	Símbolo
mega	10^6	M
quilo	10^3	k
mili	10^{-3}	m
micro	10^{-6}	μ

Para se obter uma força elétrica expressa em **N** (newton), é necessário que os módulos das cargas estejam expressos em **C** (coulomb).

Sabemos que um pente eletrizado pode atrair pedacinhos neutros de papel, por exemplo. Como surge essa atração? Veja a seguir.

Primeiro, o pente polariza o papel, conforme mostrado na figura a seguir (figuras fora de escala).

Assim, duas forças de origem elétrica aparecem no papel:

1. uma de atração ($\vec{F}_A$), na parte mais próxima ao pente;
2. outra de repulsão ($\vec{F}_R$), no lado oposto.

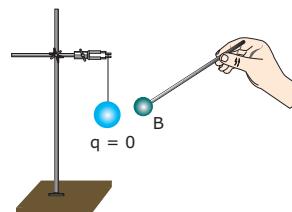
A distância entre o pente e a região de atração é menor do que a distância entre o pente e a região de repulsão. Por isso, $\mathbf{F_A > F_R}$. Dessa forma, o papel sofre ação de força elétrica resultante de atração para o pente, mesmo que a sua carga seja igual a zero. De acordo com a 3ª Lei de Newton (Ação e Reação), sobre o pente também atua uma força elétrica resultante de atração, direcionada para o papel.

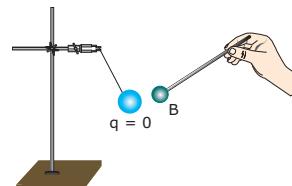
> Observe que surgiu uma informação nova: é possível **haver atração** entre um objeto eletrizado e um objeto **neutro** (descarregado).

Agora, podemos falar em pêndulo elétrico, que é um outro tipo de eletroscópio.

O pêndulo elétrico usado em laboratório é formado por

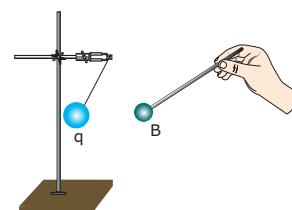
1. uma esfera, de preferência condutora (mas que pode, também, ser isolante), que deve ter peso pequeno. Quanto mais leve a esfera, maior a sensibilidade do aparelho;
2. uma haste em forma de L e uma base para apoiá-la com estabilidade;
3. um cordão que prende a esfera à haste, que tem de ser isolante.

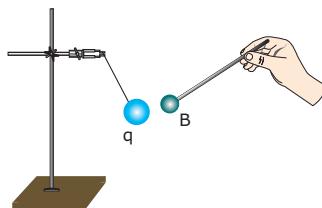
A figura a seguir mostra um típico eletroscópio de pêndulo. Note que o fio está na vertical, o que significa que não existe força horizontal sobre ele.

Na sala de aula ou em sua casa, o pêndulo pode ter apenas a esfera e o cordão, que você pode segurar com a mão.

O pêndulo elétrico, conforme mostrado, funciona como eletroscópio em duas situações. Vamos aproximar dele um objeto B, que pode ou não estar eletrizado, e analisar o que acontece com a esfera do pêndulo. A partir daí, você nos ajuda a chegar às conclusões possíveis.

A esfera do pêndulo está descarregada

1.ª situação:

Observe que a esfera não foi atraída pelo objeto B. Assim, você acha que o objeto está eletrizado? Acho que não está, concorda?

2.ª situação:

Veja, agora, que a esfera se aproximou do objeto. Isso só pode acontecer se ela, ao ser induzida (ou polarizada), receber uma força de atração maior que a de repulsão.

No segundo caso, podemos concluir que o objeto B está **carregado**, não é mesmo? E qual é o sinal da carga do objeto B? Isso **não é** possível saber. Sendo positivo ou negativo, o objeto provoca uma indução (polarização) na esfera e, assim, surge uma força resultante de atração entre os corpos.

A esfera do pêndulo está eletrizada com uma carga (q) de sinal conhecido

1.ª situação:

A esfera foi repelida pelo objeto. Isso quer dizer que a esfera e o objeto têm cargas de mesmo sinal. Como sabemos o sinal da carga da esfera, descobrimos o sinal da carga do objeto.

2.ª situação:

A esfera foi atraída pelo objeto. Isso garante que o objeto está carregado com carga de sinal oposto ao da esfera? **Não**, pois ele pode estar descarregado e, ao ser induzido ou polarizado, surge a força de atração entre ele e a esfera. Agora, se você tem certeza de que o objeto também está eletrizado, podemos concluir que a sua carga e a da esfera são de sinais contrários. **Cuidado com a situação da figura anterior**.

A CONSTANTE DIELÉTRICA DO MEIO

Todos os meios materiais e dielétricos apresentam constante da Lei de Coulomb **menor** que a do vácuo.

Chamamos de **constante dielétrica** do meio (**C**) a razão entre a constante da Lei de Coulomb no vácuo e essa constante no referido meio, ou a razão entre a força elétrica entre duas cargas no vácuo (F_0) e a força elétrica entre essas cargas naquele meio (F), ou seja:

$$C = \frac{K_0}{K} = \frac{F_0}{F}$$

Na tabela a seguir, apresentamos meios dielétricos e a sua constante dielétrica aproximada.

Meio material	Constante dielétrica
Vácuo	1
Ar	1,0005
Vidro	4,5
Glicerina	43
Água	80

Note que a constante dielétrica do ar é praticamente igual a 1. Isso indica que as forças elétricas entre cargas no vácuo e no ar têm, praticamente, o mesmo valor.

Observe, ainda, como a constante dielétrica da água é grande (80). Isso significa que duas cargas elétricas mergulhadas na água exercem entre si forças elétricas 80 vezes menores do que aquelas que seriam exercidas caso as cargas estivessem no vácuo (ou no ar).

Esse é um dos motivos de os compostos iônicos (cujos aglomerados iônicos, ou redes iônicas, são formados por íons, cátions e ânions, unidos por interações eletrostáticas de alta intensidade), de modo geral, serem facilmente dissolvidos em água. Quando colocados nessa substância, a intensidade das forças de ligações internas entre os íons diminuem bastante e ocorre a destruição da rede iônica, originando íons livres. Procure o seu professor de Química para maiores informações a respeito (forças entre os íons do composto e entre os íons positivos e negativos com as moléculas de água).

A LEI DE COULOMB E A LEI DA GRAVITAÇÃO

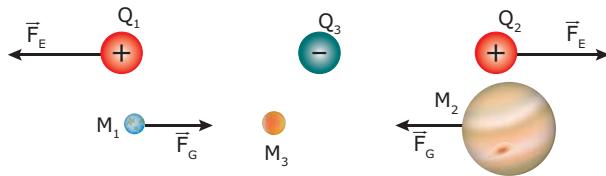
A Lei da Gravitação Universal, que você vai estudar mais adiante, foi desenvolvida por Newton um século antes da Lei de Coulomb. Newton percebeu que duas massas (de objetos pontuais ou esféricos) se atraem por uma força que é diretamente proporcional ao produto das massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre seus centros, ou seja:

$$F = G\frac{M_1 M_2}{r^2}$$

A constante (G) tem um valor igual a:

$$G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{N.m}^2/\text{kg}^2$$

Saiba que os valores dessas constantes **não** precisam ser memorizados por você.

Apesar da **semelhança** estrutural existente entre as leis de Newton e de Coulomb, destacamos aqui duas importantes **diferenças** entre elas:

1. A força elétrica pode ser **atrativa** ou **repulsiva**, enquanto a força gravitacional é **sempre atrativa**;
2. A constante K **depende** do meio, enquanto a constante G é **independente** dele, ou seja, o seu valor é o mesmo em qualquer lugar do Universo.

Apesar de tais diferenças, essas forças apresentam uma semelhança importante. As forças entre dois corpos, sejam elétricas ou gravitacionais, são **independentes** da existência de outros corpos nas proximidades.

Considere dois objetos exercendo forças entre si. Na primeira situação, os objetos exercem forças elétricas ($\vec{F}_E$) um sobre o outro. Na segunda situação, as forças exercidas são gravitacionais ($\vec{F}_G$).

Se uma terceira carga (ou massa) for colocada em qualquer lugar próximo aos objetos, as forças que os dois anteriores exercem, entre si, não serão alteradas.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

01. Em 1913, Niels Böhr propôs um modelo para o átomo de hidrogênio. No modelo, ele considerou que apenas a força elétrica entre próton e elétron faria o papel de força centrípeta para o elétron. Calcular os valores das forças gravitacional ($\vec{F}_G$) e elétrica ($\vec{F}_E$) que existem entre o próton e o elétron no átomo de hidrogênio. Sejam:

$e = 1,6 \times 10^{-19}$ C (módulo da carga do elétron e do próton)

$m_e = 9,1 \times 10^{-31}$ kg e $m_p = 1,7 \times 10^{-27}$ kg (massas do elétron e do próton, respectivamente)

$r = 5,3 \times 10^{-11}$ m (distância entre o próton e o elétron)

Resolução:

O valor da força elétrica será:

$$F_E = 9 \times 10^9 . \frac{1,6 \times 10^{-19} . 1,6 \times 10^{-19}}{(5,3 \times 10^{-11})^2} = 8,2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

O valor da força gravitacional pode ser calculado como:

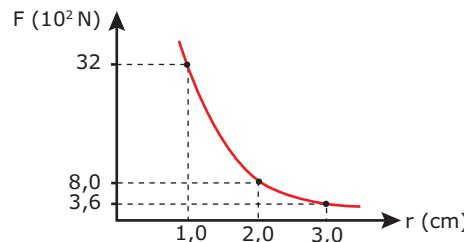
$$F_G = 6,7 \times 10^{-11} . \frac{9,1 \times 10^{-31} . 1,7 \times 10^{-27}}{(5,3 \times 10^{-11})^2} = 3,7 \times 10^{-47} \text{ N}$$

Dessa forma, a força elétrica é muitas vezes (cerca de 10^{39}) maior que a força gravitacional entre o próton e o elétron.

Você acha que, em seu modelo, Böhr cometeu algum erro relevante ao desprezar a força gravitacional?

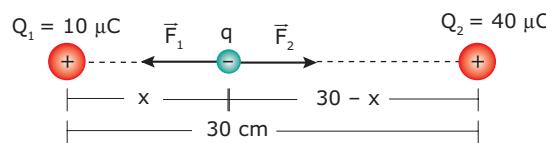
02. Duas cargas positivas, $Q_1 = 4,0$ μC e $Q_2 = 9,0$ μC, encontram-se no vácuo e separadas por uma distância r. Calcular a força elétrica que elas exercem entre si para r = 1,0 cm, 2,0 cm e 3,0 cm. Utilizar os valores para construir o gráfico da força entre as cargas em função da distância entre elas.

Resolução:

Para r = 1,0 cm

$$F = \frac{9,0 \times 10^9 \ . \ 4,0 \times 10^{-6} \ . \ 9,0 \times 10^{-6}}{\left(1,0 \times 10^{-2}\right)^2}$$

$F = 3,2 \times 10^3$ N

Para r = 2,0 cm, a força será 4 vezes menor do que a força para r = 1,0 cm. Assim, $F = 8,0 \times 10^2$ N.

Para r = 3,0 cm, a força será 9 vezes menor do que a força para r = 1,0 cm. Logo, $F = 3,6 \times 10^2$ N.

O gráfico F *versus* r está representado a seguir:

Esse gráfico corresponde a uma curva semelhante a uma **hipérbole,** (F α $1/r^2$).

03. Duas cargas puntiformes positivas, de módulos $Q_1 = 10$ μC e $Q_2 = 40$ μC, estão fixas e separadas por 30 cm. Determinar a posição, na linha que une essas duas, na qual uma terceira carga q, negativa, deverá ser colocada, para ficar em equilíbrio sob as ações das forças elétricas exercidas por Q_1 e por Q_2.

Resolução:

O único local possível para o equilíbrio de q é entre as cargas Q_1 e Q_2. Ela sofrerá forças de atração F_1 de Q_1 e F_2 de Q_2. Chamando a distância entre q e Q_1 de x, podemos escrever que:

$$F_R = 0 \quad \Rightarrow \quad F_1 = F_2 \quad \Rightarrow \frac{K.Q_1.q}{x^2} = \frac{K.Q_2.q}{(30-x)^2}$$

Simplificando e substituindo os valores, a equação fica:

$$\frac{10}{x^2} = \frac{40}{(30-x)^2} \quad \Rightarrow \quad 4x^2 = (30 - x)^2$$

A única solução possível para essa equação é x = 10 cm.

Fica de "Para casa" você provar que

A) se q fosse positiva, a solução seria a mesma;

B) é impossível q permanecer em equilíbrio do lado direito de Q_2 ou do lado esquerdo de Q_1.

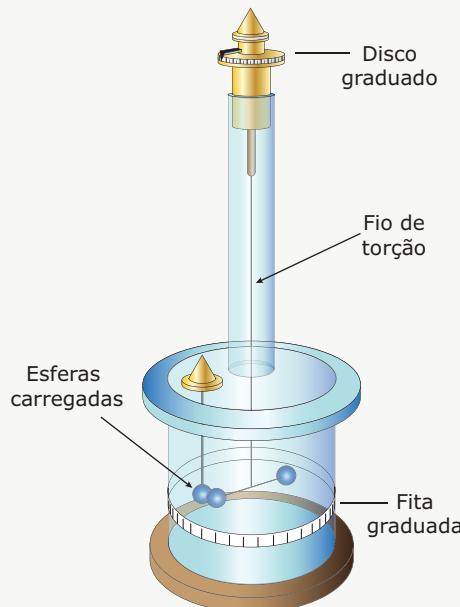
CONCLUSÃO

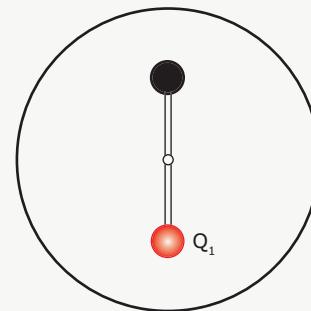
Você viu que, no caso do exercício resolvido 01, a força elétrica é muito maior do que a força gravitacional. Agora, vamos responder à pergunta do início do módulo.

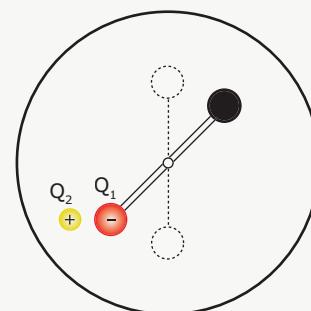
A constante da Lei de Coulomb (K) é próxima de 10^{10}, e a constante de gravitação (G) é da ordem de 10^{-10}. Então, a razão entre elas é aproximadamente 10^{20}.

Imagine dois objetos eletrizados que possuem massa. Se o produto das suas massas (em kg^2) for maior do que 10^{20} vezes o produto de suas cargas (em C^2), a força gravitacional será maior. Caso contrário, a força elétrica é a maior delas.

Assim, a força elétrica tende a ser maior do que a gravitacional, a não ser que, pelo menos, uma das massas envolvidas seja muito grande. Como a massa da Terra é enorme, o saco de 60 kg é muito pesado.

LEITURA COMPLEMENTAR

A balança de torção

As forças elétricas entre os objetos que Coulomb usou, em 1785, para determinar a lei que leva o seu nome, eram muito pequenas. Para conseguir medições de valores precisos e confiáveis, ele utilizou uma balança capaz de oferecer a precisão de que necessitava.

Você estudou, na 1ª série do Ensino Médio, que uma mola, comprimida ou distendida, exerce uma força elástica que é proporcional à sua deformação. O mesmo acontece quando você torce um fio de *nylon*, por exemplo. Nesse caso, a força exercida pelo fio é proporcional ao ângulo de torção.

A balança utilizada por Coulomb era formada por duas esferas, pequenas, condutoras e de mesma massa, presas a uma haste isolante suspensa, pelo centro, por um fio dielétrico que se prendia à parte superior do instrumento. A haste, o fio e as esferas ficavam dentro de um recipiente (transparente) para evitar que agentes externos influenciassem as medições. Vamos analisar a experiência de forma simplificada.

Ele eletrizava uma das esferas, por contato, com um objeto eletrizado, com carga conhecida de valor Q_1, através de orifícios na parte superior do recipiente.

A figura a seguir mostra a haste e as esferas para o fio sem nenhuma torção.

Em seguida, ele introduzia a esfera (Q_2) pelo orifício, esperava o sistema entrar em equilíbrio e media o ângulo de torção do fio. A figura seguinte mostra uma situação de equilíbrio.

Variando-se os valores das cargas Q_1 e Q_2 e mantendo sempre a mesma distância entre elas, ele media os novos ângulos de torção. Utilizando o fato de que a força que o fio exerce sobre a haste é proporcional ao ângulo de torção e observando que essa força possui a mesma intensidade da força elétrica, Coulomb chegou à conclusão de que a força elétrica é proporcional ao módulo do produto das cargas.

Repetindo-se a experiência para as mesmas cargas, mas variando a distância entre elas, Coulomb também percebeu que a força elétrica é inversamente proporcional ao quadrado da distância.

Simples e, também, interessante. Você não acha?

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (UNIFESP-SP) Uma estudante notou que, ao colocar sobre uma mesa horizontal três pêndulos eletrostáticos idênticos, equidistantes entre si, como se cada um ocupasse o vértice de um triângulo equilátero, as esferas dos pêndulos se atraíram mutuamente. Sendo as três esferas metálicas, a estudante poderia concluir **CORRETAMENTE** que

A) as três esferas estavam eletrizadas com cargas de mesmo sinal.

B) duas esferas estavam eletrizadas com cargas de mesmo sinal e uma com carga de sinal oposto.

C) duas esferas estavam eletrizadas com cargas de mesmo sinal e uma neutra.

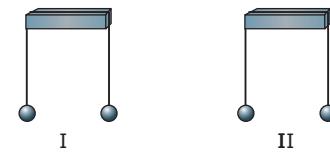
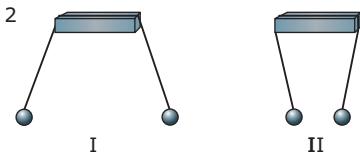
D) duas esferas estavam eletrizadas com cargas de sinais opostos e uma neutra.

E) uma esfera estava eletrizada e duas neutras.

02. (UFMG–2007) Em seu laboratório, o professor Ladeira prepara duas montagens – I e II –, distantes uma da outra, como mostrado na figura 1.

Em cada montagem, duas pequenas esferas metálicas, idênticas, são conectadas por um fio e penduradas em um suporte isolante. Esse fio pode ser de material isolante ou condutor elétrico.

Em seguida, o professor transfere certa quantidade de carga para apenas uma das esferas de cada uma das montagens.

Ele, então, observa que, após a transferência de carga, as esferas ficam em equilíbrio, como mostrado na figura 2.

Considerando-se essas informações, é **CORRETO** afirmar que, após a transferência de carga,

A) em cada montagem, ambas as esferas estão carregadas.

B) em cada montagem, apenas uma das esferas está carregada.

C) na montagem I, ambas as esferas estão carregadas e, na II, apenas uma delas está carregada.

D) na montagem I, apenas uma das esferas está carregada e, na II, ambas estão carregadas.

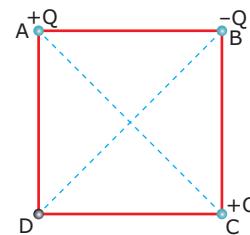
03. (PUC Rio–2007) Duas partículas de carga elétrica Q e massa M são colocadas sobre um eixo e distam de 1,0 m. Podemos dizer que

A) a força de interação entre as partículas é nula.

B) as partículas serão atraídas pela força coulombiana e repelidas pela força gravitacional.

C) as partículas serão repelidas pela força coulombiana e repelidas pela força gravitacional.

D) as partículas serão atraídas pela força coulombiana e atraídas pela força gravitacional.

E) as partículas serão repelidas pela força coulombiana e atraídas pela força gravitacional.

04. (UFF-RJ–2008) Numa experiência de eletrostática realizada no laboratório didático do Instituto de Física da UFF, duas bolas idênticas são penduradas por fios isolantes muito finos a uma certa distância uma da outra.

Elas são, então, carregadas eletricamente com quantidades diferentes de carga elétrica de mesmo sinal: a bola I recebe 8 unidades de carga e a bola II recebe 2 unidades de carga.

Escolha o diagrama que representa **CORRETAMENTE** as forças de interação entre as bolas.

05. (PUC-SP) Três cargas puntiformes +Q, –Q e +Q estão fixas nos vértices A, B e C de um quadrado, conforme a figura.

Abandonando uma quarta carga +Q no vértice D, ela

A) se desloca na direção DC, afastando-se de Q.

B) se desloca na direção DA, aproximando-se de Q.

C) permanece em equilíbrio.

D) se desloca na direção DB, afastando-se de –Q.

E) se desloca na direção DB, aproximando-se de –Q.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

01. (UEL-PR) Considere a Lei de Coulomb, relativa à força entre cargas elétricas em repouso, e a Lei da Gravitação de Newton, relativa à força entre massas. Em relação a essas duas leis, é **CORRETO** afirmar que

A) na Lei de Coulomb, as forças podem ser do tipo atrativas ou repulsivas.

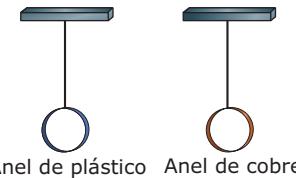
B) na Lei da Gravitação, as forças são sempre do tipo repulsivas.

C) na Lei de Coulomb, as forças são sempre do tipo atrativas.

D) na Lei da Gravitação, as forças podem ser do tipo atrativas ou repulsivas.

E) na Lei de Coulomb, as forças são sempre do tipo repulsivas.

02. (UFMG) Aproximando-se um pente de um pedacinho de papel, observa-se que não há força entre eles. No entanto, ao se passar o pente no cabelo e, em seguida, aproximá-lo do pedacinho de papel, este será atraído pelo pente.

Sejam $F_{(pente)}$ e $F_{(papel)}$ os módulos das forças eletrostáticas que atuam, respectivamente, sobre o pente e sobre o papel.

Com base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que

A) o pente e o papel têm cargas de sinais opostos e $F_{(pente)} = F_{(papel)}$.

B) o pente e o papel têm cargas de sinais opostos e $F_{(pente)} > F_{(papel)}$.

C) o pente está eletricamente carregado, o papel está eletricamente neutro e $F_{(pente)} = F_{(papel)}$.

D) o pente está eletricamente carregado, o papel está eletricamente neutro e $F_{(pente)} > F_{(papel)}$.

03. (PUC Rio–2010) Três cargas elétricas estão em equilíbrio ao longo de uma linha reta, de modo que uma carga positiva (+Q) está no centro e duas cargas negativas (–q) e (–q) estão colocadas em lados opostos e à mesma distância (d) da carga Q. Se aproximarmos as duas cargas negativas para d/2 de distância da carga positiva, qual o valor de Q (o valor final será Q'), de modo que o equilíbrio de forças se mantenha?

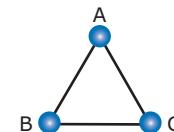
A) Q' = Q

B) Q' = 2Q

C) Q' = 4Q

D) Q' = Q/2

E) Q' = Q/4

04. (UFMG) Considere a situação descrita a seguir.

Em uma aula, o prof. Antônio apresenta uma montagem com dois anéis dependurados, como representado na figura anterior. Um dos anéis é de plástico – material isolante – e o outro é de cobre – material condutor. Inicialmente, o prof. Antônio aproxima um bastão eletricamente carregado do anel de plástico e, depois, do anel de cobre.

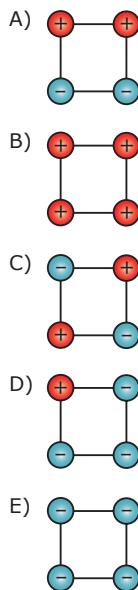
Com base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que

A) os dois anéis se aproximam do bastão.

B) o anel de plástico não se movimenta e o de cobre se afasta do bastão.

C) os dois anéis se afastam do bastão.

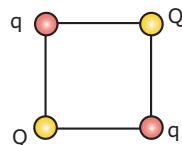
D) o anel de plástico não se movimenta e o de cobre se aproxima do bastão.

05. (FMTM-MG) Nos vértices do triângulo equilátero ABC da figura, são fixadas três cargas elétricas puntiformes e de mesmo sinal. A força elétrica resultante sobre a carga A será

A) nula, pois encontra-se equidistante das cargas B e C.

B) vertical para cima, somente se as cargas forem positivas.

C) vertical para baixo, somente se as cargas forem negativas.

D) vertical para cima, qualquer que seja o sinal das cargas.

E) vertical para baixo, qualquer que seja o sinal das cargas.

06. (PUC Rio–2009) Dois objetos metálicos esféricos idênticos, contendo cargas elétricas de 1 C e de 5 C, são colocados em contato e depois afastados a uma distância de 3 m. Considerando a constante de Coulomb $K = 9 \times 10^9$ $N.m^2/C^2$, podemos dizer que a força que atua entre as cargas após o contato e o afastamento é

A) atrativa e tem módulo 3×10^9 N.

B) atrativa e tem módulo 9×10^9 N.

C) repulsiva e tem módulo 3×10^9 N.

D) repulsiva e tem módulo 9×10^9 N.

E) zero.

07. (UFMG) O arranjo de cargas puntiformes fixas nos vértices de um quadrado que poderia ter força resultante nula sobre uma das cargas é

A)

B)

C)

D)

E)

08. (UFPE–2007) Quatro cargas elétricas puntiformes, de intensidades Q e q, estão fixas nos vértices de um quadrado, conforme indicado na figura. Determine a razão Q/q para que a força sobre cada uma das cargas Q seja nula.

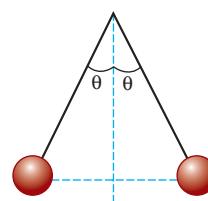
A) $-\frac{\sqrt{2}}{4}$

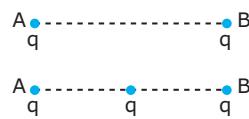
B) $\frac{\sqrt{5}}{5}$

C) $-\sqrt{2}$

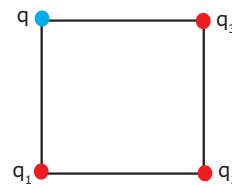
D) $-2\sqrt{2}$

E) $-4\sqrt{2}$

09. (UNESP-SP–2010) Um dispositivo simples capaz de detectar se um corpo está ou não eletrizado, é o pêndulo eletrostático, que pode ser feito com uma pequena esfera condutora suspensa por um fio fino e isolante. Um aluno, ao aproximar um bastão eletrizado do pêndulo, observou que ele foi repelido (etapa I). O aluno segurou a esfera do pêndulo com suas mãos, descarregando-a e, então, ao aproximar novamente o bastão, eletrizado com a mesma carga inicial, percebeu que o pêndulo foi atraído (etapa II). Após tocar o bastão, o pêndulo voltou a sofrer repulsão (etapa III). A partir dessas informações, considere as seguintes possibilidades para a carga elétrica presente na esfera do pêndulo:

Possibilidade	Etapa I	Etapa II	Etapa III
1	Neutra	Negativa	Neutra
2	Positiva	Neutra	Positiva
3	Negativa	Positiva	Negativa
4	Positiva	Negativa	Negativa
5	Negativa	Neutra	Negativa

Somente pode ser considerado **VERDADEIRO** o descrito nas possibilidades

A) 1 e 3.
B) 1 e 2.
C) 2 e 4.
D) 4 e 5.
E) 2 e 5.

10. (PUC Rio–2009) Duas esferas idênticas, carregadas com cargas Q = 30 μC, estão suspensas a partir de um mesmo ponto por dois fios isolantes de mesmo comprimento, como mostra a figura a seguir. Em equilíbrio, o ângulo θ, formado pelos dois fios isolantes com a vertical, é 45°. Sabendo que a massa de cada esfera é de 1 kg, que a constante de Coulomb é $K = 9 \times 10^9\ N.m^2/C^2$ e que a aceleração da gravidade é $g = 10\ m/s^2$, determine a distância entre as duas esferas quando em equilíbrio. Lembre-se de que $\mu = 10^{-6}$.

A) 1,0 m
B) 0,9 m
C) 0,8 m
D) 0,7 m
E) 0,6 m

11. (Cesgranrio) Duas pequenas esferas A e B possuem a mesma carga elétrica q e se repelem com uma força de intensidade F. No ponto médio da distância que as separa, introduz-se uma terceira carga elétrica q, conforme indica a figura a seguir.

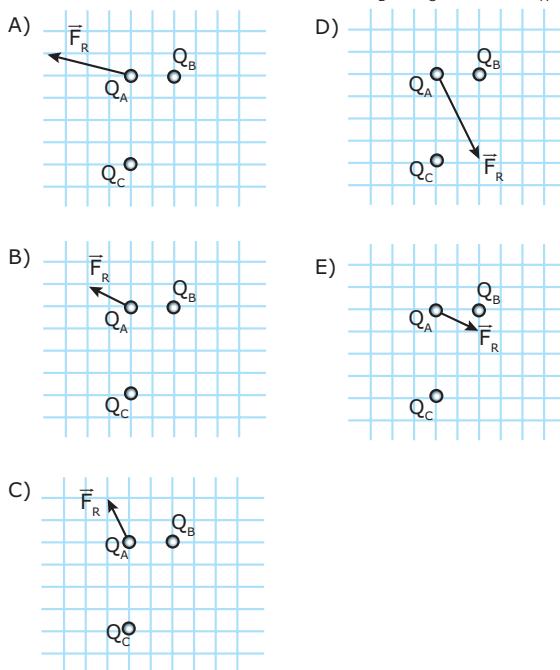
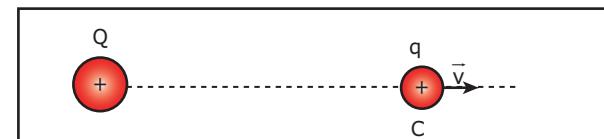
Assim, a resultante das forças elétricas que agem sobre a esfera A passou a valer

A) 5F.

B) 4F.

C) 3F.

D) 2F.

E) F.

12. (UFMG) A figura apresenta cargas elétricas, q_1, q_2 e q_3, fixas nos vértices de um quadrado.

As forças que a carga q exerce sobre as cargas q_1, q_2 e q_3 são iguais em módulo. Podemos concluir que

A) $q_1 = q_3 > q_2$.

B) $q_1 = q_2 = q_3$.

C) $q_3 > q_2 > q_1$.

D) $q_3 < q_2 < q_1$.

E) $q_1 = q_3 < q_2$.

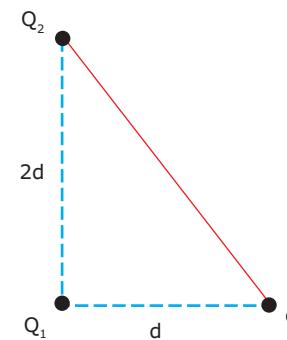
13. (UFRRJ–2009) Nas ilustrações, as cargas Q_A, Q_B e Q_C são idênticas (têm mesmo valor e mesmo sinal), estão fixas nas posições representadas e interagem somente por força coulombiana. A ilustração que representa **MELHOR** a resultante das forças das cargas Q_B e Q_C sobre a Q_A é

A)

D)

B)

E)

C)

14. (UFMG) Observe a figura:

Uma carga elétrica puntual +Q encontra-se fixada sobre uma mesa isolante, conforme mostrado na figura. Um pequeno corpo C, eletrizado com uma carga também positiva +q, é abandonado sobre a mesa, nas proximidades de +Q. Em virtude da repulsão elétrica entre as cargas, o corpo C se desloca em linha reta sobre a mesa. Considere que a força resultante que atua sobre C é devido apenas à carga Q. Sendo $\vec{a}$ sua aceleração e $\vec{v}$ sua velocidade, pode-se afirmar que, enquanto C se desloca,

A) $|\vec{a}|$ diminui e $|\vec{v}|$ diminui.

B) $|\vec{a}|$ diminui e $|\vec{v}|$ aumenta.

C) $|\vec{a}|$ aumenta e $|\vec{v}|$diminui.

D) $|\vec{a}|$ aumenta e $|\vec{v}|$ não varia.

E) $|\vec{a}|$ não varia e $|\vec{v}|$ aumenta.

15. (CEFET-MG–2006) Três cargas, q, Q_1 e Q_2, puntuais, tais que $Q_2 = 5Q_1$, estão fixas nos vértices de um triângulo retângulo de catetos d e 2d, como mostrado na figura a seguir. Sendo F a força exercida por Q_1 em q, então o valor da força de Q_2 em q é expressa por

A) $F\frac{\sqrt{5}}{5}$.

B) $5F\sqrt{5}$.

C) $F\sqrt{3}$.

D) $F\frac{\sqrt{3}}{3}$.

E) F.

SEÇÃO ENEM

01. A força elétrica, como a força gravitacional, diminui com o inverso do quadrado da distância entre os corpos interagentes. A primeira depende do meio onde os corpos se acham, mas a segunda não. A interação elétrica entre duas cargas de 1 C, situadas no ar e separadas de 1 m, vale nove bilhões de newtons. Na água, esse valor é 81 vezes menor. A interação entre duas massas de 1 kg, situadas em qualquer meio e separadas de 1 m, vale aproximadamente apenas um décimo do bilionésimo do newton. Enquanto a força gravitacional é sempre atrativa, a força elétrica pode ser atrativa (por exemplo, entre um elétron e um próton) ou repulsiva (por exemplo, entre dois elétrons ou entre dois prótons).

De acordo com as informações do texto anterior, é correto afirmar que

A) a força elétrica entre dois corpos eletrizados é sempre maior do que a força gravitacional existente entre eles.
B) a força elétrica que os prótons do núcleo de um átomo exercem sobre cada um dos elétrons desse átomo é repulsiva.
C) a força elétrica de repulsão entre os prótons aglomerados no núcleo de um átomo estável é muito pequena.
D) a repulsão elétrica entre dois núcleos atômicos dobra de valor quando a distância entre os átomos dobra.
E) a atração elétrica entre íons opostos de um sal reduz drasticamente de valor quando esse sal é jogado em água.

02. Duas pequenas esferas de aço idênticas – mesmo peso e tamanho – encontram-se eletrizadas com cargas iguais e suspensas por fios isolantes, que formam, entre si, na situação de equilíbrio, um ângulo $\theta = 90^o$, conforme mostra a figura 1. O conjunto se acha sobre um reservatório que contém um óleo isolante, cuja constante dielétrica é cinco vezes maior que a constante dielétrica do ar. Sabe-se que a constante (K) da Lei de Coulomb é inversamente proporcional à constante dielétrica do meio. A seguir, as esferas são mergulhadas no óleo, conforme mostra a figura 2.

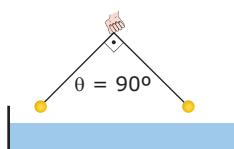



Figura 1

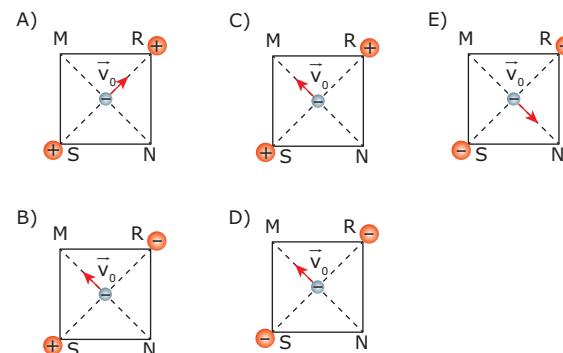



Figura 2

Nessa situação, o empuxo sobre cada esfera pode ser desprezado. Para essa nova situação de equilíbrio, o ângulo entre os fios

A) permanecerá igual a 90º, pois as forças elétricas que atuam nas esferas diminuem igualmente em cada uma delas.
B) permanecerá igual a 90º, pois as forças elétricas de repulsão entre as esferas aumentam igualmente em cada uma delas.
C) permanecerá igual a 90º, pois os pesos das esferas, as forças elétricas entre elas e as trações nas cordas não terão seus valores alterados.
D) ficará menor que 90º, uma vez que as forças elétricas entre as esferas, que dependem da constante dielétrica, vão diminuir.
E) ficará maior que 90º, uma vez que as forças elétricas entre as esferas, que dependem da constante dielétrica, vão aumentar.

03. Duas cargas, de mesmo módulo Q, estão fixas nos vértices opostos de um quadrado imaginário e apoiadas sobre uma mesa. Um elétron é lançado da posição central do quadrado com velocidade de módulo v_0, suficiente para que ele consiga deslocar-se, inicialmente, por uma distância pelo menos igual à metade da diagonal do quadrado. Despreze quaisquer tipos de atrito. A alternativa na qual o elétron pode oscilar em torno de sua posição inicial é

GABARITO

Fixação

01. D 02. C 03. E 04. B 05. D

Propostos

01. A 02. C 03. A 04. A 05. D 06. D 07. C 08. D 09. E 10. B 11. A 12. E 13. A 14. B 15. E

Seção Enem

01. E 02. D 03. C

FÍSICA

Campo elétrico

MÓDULO 03 FRENTE D

Sabemos que, para puxar uma cadeira ou empurrar uma geladeira, precisamos colocar a "mão na massa". Ou seja, temos de fazer contato físico com o objeto sobre o qual queremos exercer uma força. Atualmente, acredita-se que jamais vamos conseguir puxar a cadeira apenas com o olhar.

Então, como podem existir, por exemplo, forças elétricas e forças gravitacionais sem que haja contato entre os objetos? Veja, neste módulo, como isso acontece.

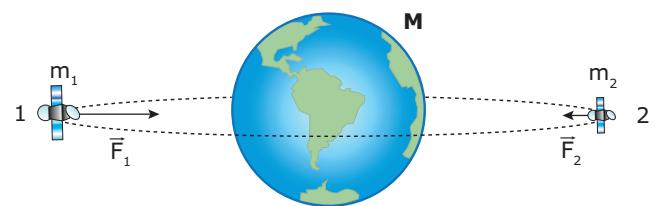
Primeiramente, devemos nos lembrar de como multiplicar um vetor por um escalar (n). Sempre que isso acontece, obtemos um outro vetor. Se o escalar (n) é

A. **positivo**, o novo vetor terá a **mesma direção** e o **mesmo sentido** do vetor original.

B. **negativo**, o vetor obtido estará na **mesma direção**, mas terá **sentido contrário** ao do vetor original.

OS CAMPOS GRAVITACIONAL E ELÉTRICO

É possível falar de campo de forças, gravitacional ou elétrico, de duas formas. Pode ser do ponto de vista do objeto que

1. está produzindo (gerando) o referido campo;
2. quando colocado em uma região onde há um campo de forças, tendo propriedades específicas, sofre a ação desse campo.

Imagine uma região do espaço. Se nela colocarmos um objeto que possua massa ou carga elétrica, esse objeto vai criar, no espaço à sua volta, um campo gravitacional ou um campo elétrico, respectivamente. Ou seja, a simples presença de massa ou de carga elétrica naquela região faz com que nela apareça um campo de forças (1º ponto de vista).

Agora, imagine que num certo local do espaço existe um campo de forças e que um objeto foi levado para tal região. Se for um campo gravitacional, um objeto que tem massa vai sofrer, do campo, uma força de origem gravitacional. Sendo o campo elétrico, uma carga elétrica, lá colocada, sofre uma força de origem elétrica (2º ponto de vista).

Ou seja, surgem forças, gravitacionais ou elétricas, entre massas ou cargas elétricas, respectivamente, mesmo à distância, através dos campos de força que elas produzem no espaço em torno delas. Dizemos, então, que existe uma interação entre o campo e o objeto nele colocado. Ou seja, o campo, em contato com o corpo, exerce sobre este uma força.

A DEFINIÇÃO DE CAMPO GRAVITACIONAL

Considere dois satélites (1 e 2), de massas m_1 e m_2, em órbita ao redor da Terra. Eles têm massas diferentes, mas estão em uma mesma órbita, tendo distâncias iguais ao centro da Terra. Sejam F_1 e F_2 as forças que a Terra exerce sobre eles (e que os mantêm em órbita).

A Terra cria em torno dela um campo gravitacional (chamado de gravidade). Qual é o seu valor?

Se o satélite 1 tem massa maior do que o satélite 2, ele receberá, do campo, uma força proporcionalmente maior. Ou seja, dividindo F_1 por m_1 e F_2 por m_2, encontramos o mesmo número, que é o valor do campo gravitacional (**g**), no local onde se encontram os satélites:

$$\frac{F_1}{m_1} = \frac{F_2}{m_2} = \text{constante} = g$$

O campo gravitacional criado pela Terra (ou por qualquer outro objeto que tenha massa) pode ser obtido dividindo-se a força que ela exerce sobre um corpo, colocado em seu campo gravitacional, pela massa desse corpo. Observe que a gravidade **não depende** da massa do corpo que está sofrendo a sua ação (um corpo de massa maior recebe maior força).

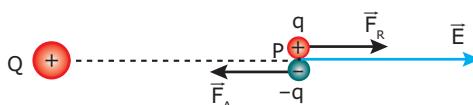
Você sabe como determinar a força gravitacional. Então, vamos calcular o campo gravitacional criado por um corpo esférico de massa **M** em um ponto que está a uma distância **r** do seu centro:

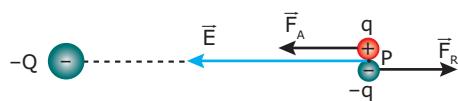
$$g = \frac{F}{m} = \frac{G\frac{M.m}{r^2}}{m} \Rightarrow \boxed{g = G\frac{M}{r^2}}$$

A DEFINIÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO

Considere uma carga Q, positiva, criando um campo elétrico na região ao seu redor e uma outra carga **q** ($q > 0$), colocada em um ponto P desse campo. A força elétrica $\vec{F}$ que atua sobre a carga **q** será de repulsão, conforme mostra a figura.

Se trocarmos a carga **q** por uma **2q**, notamos que o módulo de força que atua sobre a carga **2q** será **2F**. Para uma carga igual a **3q**, o módulo de força será **3F**, e assim sucessivamente. Então, concluímos que a razão entre o módulo da força elétrica F e a carga q colocada no campo é uma constante, para um dado ponto do campo elétrico. Podemos escrever que:

$$\frac{F}{q} = \frac{2F}{2q} = \frac{3F}{3q} = \ldots = \text{constante} = E$$

Essa constante representa o valor do campo elétrico $\vec{E}$ no ponto P. O campo elétrico é uma grandeza vetorial. Por isso, a definição operacional de campo elétrico é:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Destacamos duas observações importantes:

1. A unidade de campo elétrico é o newton por coulomb (**N/C**). Um campo elétrico de módulo igual a 200 N/C, por exemplo, indica que uma carga de 1 C colocada nesse campo sofre a ação de uma força elétrica de módulo igual a 200 N.
2. O campo elétrico em um ponto depende da carga geradora do campo (carga fonte, Q) e não da carga que sofre a ação desse campo (carga de prova, q), pois, aumentando-se o valor de q, o módulo de $\vec{F}$ também aumenta, e a razão F/q permanece constante.

O campo elétrico é uma grandeza vetorial. Vamos, agora, determinar a sua direção e seu sentido.

Na figura anterior, temos uma carga Q, positiva, criando um campo elétrico $\vec{E}$ no ponto P. Nesse ponto, foram colocadas duas cargas de prova que sofrem a ação do campo gerado por Q. É claro que a positiva sofre ação de uma força para a direita, e a negativa, de uma força para a esquerda.

Agora, temos uma carga –Q, negativa, gerando um campo elétrico E no ponto P. Nele, foram colocadas duas cargas de prova que sofrem a ação do campo criado por –Q. Você sabe que a positiva sofre ação de uma força para a esquerda, e a negativa, uma força para a direita.

Da definição de campo, podemos escrever:

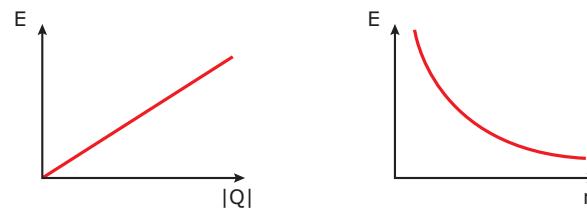
$$\vec{F} = q.\vec{E}$$

Essa é uma multiplicação de um vetor por um escalar. Assim, a força e o campo elétrico têm a mesma direção e, se a

1. carga q é positiva, o **mesmo sentido**.
2. carga q é negativa, **sentidos opostos**.

Concluímos, então, que o campo gerado por uma carga **positiva** Q, em um ponto à sua volta, começa nesse ponto, está na mesma direção da reta que o une à carga Q e aponta em sentido oposto à carga Q. Ou seja, a carga positiva gera um campo que, em cada ponto do espaço, se afasta dela.

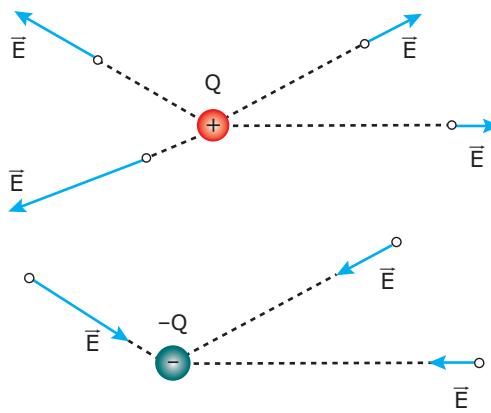
Ao contrário, a carga **negativa** –Q gera um campo na mesma direção da reta que a liga ao ponto, começa neste e aponta para a carga geradora. Tomando os exemplos das figuras anteriores e retirando-se as cargas (q e –q), o campo no ponto P continua a existir e está representado nas figuras a seguir.

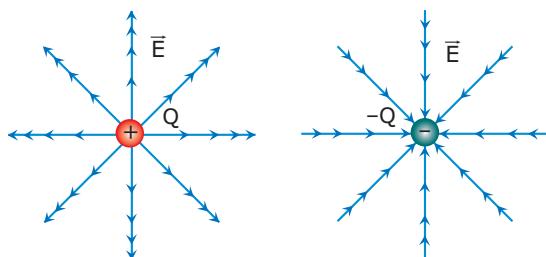
CAMPO ELÉTRICO DE UMA CARGA PUNTIFORME

Considere uma carga Q, pontual, criando um campo elétrico no espaço à sua volta e uma carga pequena q colocada em um ponto P, a uma distância r da carga Q. Como as cargas são puntiformes, o módulo da força elétrica $\vec{F}$ que atua sobre q pode ser calculada pela Lei de Coulomb. Assim, podemos determinar o módulo do campo elétrico como:

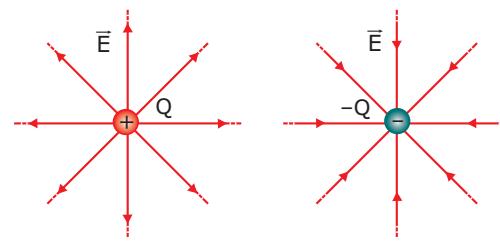
$$E = \frac{F}{|q|} = \frac{K\frac{|Q.q|}{r^2}}{|q|} \Rightarrow E = K\frac{|Q|}{r^2}$$

Essa expressão reforça o fato de que o campo elétrico depende da carga geradora do campo e não da carga de prova. De fato, em qualquer arranjo de cargas, o campo elétrico depende de três elementos:

1. da(s) carga(s) geradora(s) do campo.
2. do meio onde as cargas se acham (note a constante da Lei de Coulomb (K) na equação).
3. dos aspectos geométricos do campo (veja a presença da distância (r) na equação).

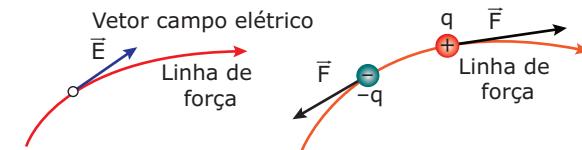
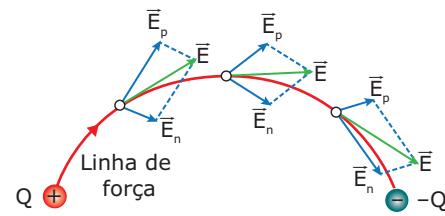
Aqui estão os gráficos do módulo do campo elétrico em função do módulo da carga Q (carga fonte) e em função da distância do ponto até a carga fonte (r).

O VETOR CAMPO ELÉTRICO E AS LINHAS DE FORÇA

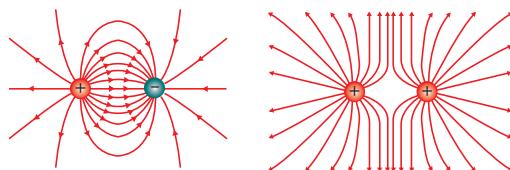
O campo elétrico criado por uma carga, assim como o campo gravitacional da Terra, não pode ser visto nem tocado. Para representá-lo, ou seja, para permitir uma "visualização" de como ele é, desenhamos

1. o vetor campo elétrico, quando queremos saber como é o campo em um ponto do espaço.
2. as linhas de força do campo elétrico, quando estamos interessados em perceber como é o campo numa região do espaço em torno da carga (diversos pontos ao mesmo tempo).

Veja dois exemplos dos vetores campo elétrico em determinados pontos do espaço:

Foi possível notar a influência da distância r no tamanho do vetor campo elétrico, em cada um dos pontos em que foram desenhados?

Se a carga é negativa, os vetores, em todos os pontos do espaço em torno dela, começam nesses pontos e apontam para ela. Um fato importante a ser observado, conforme citado, é que o campo existe, em cada ponto, sem que seja necessário nele existir uma outra carga. A figura a seguir mostra os vetores campo elétrico em vários pontos em volta de uma carga positiva e de uma carga negativa, isoladas e muito distantes uma da outra.

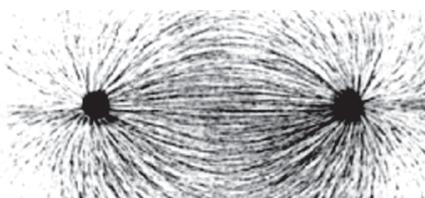
As linhas de força do campo elétrico foram propostas por Michael Faraday. Tais linhas dariam uma ideia de como seria o campo elétrico no espaço, como um todo, em volta da carga. Tomando a figura anterior e ligando-se os vetores por uma linha, teremos uma linha de força do campo elétrico.

As figuras a seguir mostram as linhas de força do campo elétrico em torno das cargas pontuais positiva e negativa, isoladas e afastadas uma da outra.

Nelas, as linhas estão no plano do papel. Entretanto, as linhas de força estão presentes em todo o espaço tridimensional em torno da carga. Será que isso lembra algum animal marinho?

Observe que as linhas de força do campo elétrico "**divergem**" da carga **positiva** e "**convergem**" para a **negativa**. Isso é um fato verdadeiro, mesmo que a carga não seja puntiforme. Olhando para as linhas de força, notamos os pontos do espaço nos quais o campo elétrico é mais intenso, assim como para onde esse campo aponta.

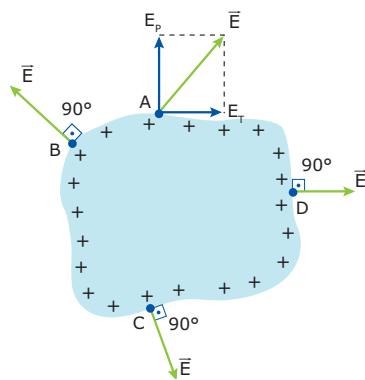
As linhas de força do campo elétrico apresentam cinco propriedades importantes:

1. O campo elétrico é mais intenso na região onde a concentração de linhas de força é mais elevada (maior densidade de linhas). Veja, nas figuras anteriores, que as linhas estão mais próximas junto às cargas, o que significa que aí o campo é mais intenso – inversamente proporcional ao quadrado da distância r.

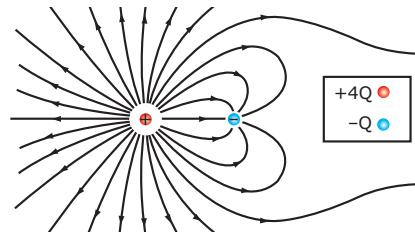
2. As linhas de força são desenhadas de forma que o vetor campo elétrico $\vec{E}$, em cada ponto, seja **tangente** e no **mesmo sentido** da linha de força que passa por esse ponto. A força elétrica ($\vec{F}$) que atua sobre uma carga q, colocada no ponto, também é um vetor tangente à linha de campo elétrico, sendo orientada:

   A. no mesmo sentido da linha de força se q > 0.

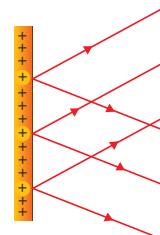
   B. em sentido oposto à linha de força se q < 0.

3. Duas ou mais linhas de força **nunca** se cruzam (ou seja, por um ponto do espaço passa uma única linha de campo). Mas, no **mesmo** ponto do espaço, podem haver **vários vetores** campo elétrico, criados por cargas distintas. Se duas cargas estivessem próximas, as linhas de força geradas por cada uma individualmente se "cortariam". Assim, a presença de outras cargas faz com que as linhas de força sofram alterações em relação às linhas criadas por cada uma individualmente. Veja os vetores campo elétrico e uma linha de força gerados por um sistema de duas cargas pontuais, de mesmo módulo, próximas uma da outra, sendo uma positiva e a outra negativa.

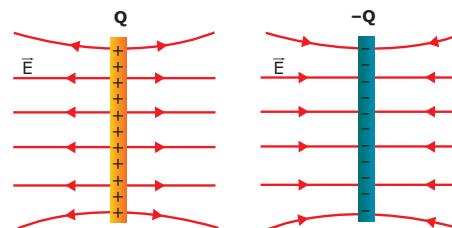
Os vetores **azuis** mostram os campos elétricos criados pelas cargas **positiva, E_p, e negativa, E_n** (o tamanho deles é função da distância até cada carga). Os vetores **verdes** (a soma vetorial dos azuis em cada ponto) mostram os campos resultantes em cada posição. O traço vermelho é a linha de força do campo naquela região.

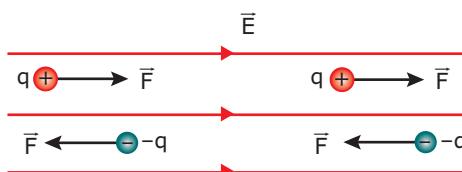
As figuras a seguir mostram como são as linhas de força de um sistema de duas cargas pontuais de mesmo módulo – a figura à esquerda, com cargas de sinais opostos, e a figura à direita, com cargas de mesmo sinal.

A fotografia seguinte mostra pó de carvão colocado sobre a superfície de um óleo. Duas cargas pontuais foram colocadas no recipiente. Note que o pó tende a se orientar na direção das linhas de força em torno das cargas.

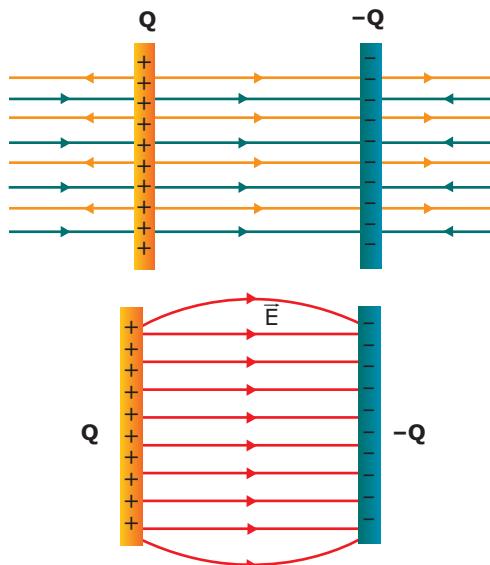
Tente imaginar, a partir das figuras, como são vistas as linhas de força no espaço tridimensional. Interessante, não?

4. O vetor campo elétrico é sempre perpendicular à superfície do objeto eletrizado que o gerou (quando esse objeto se encontra em equilíbrio eletrostático) e, assim, as linhas saem ou chegam ao objeto, sempre perpendicularmente à sua superfície.

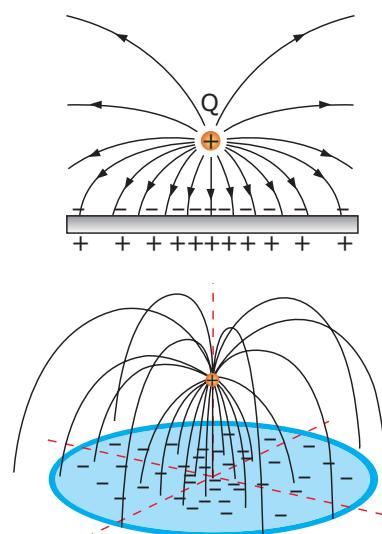
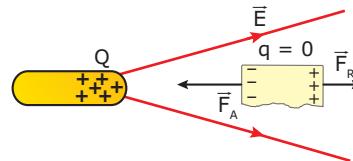
   Veja o campo elétrico no ponto A. Se ele pudesse ser como foi desenhado, haveria uma componente do campo tangente à superfície (E_T).

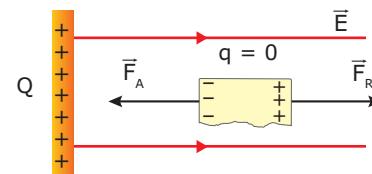
   Essa componente faria as cargas se movimentarem em torno da superfície do condutor. Num corpo em equilíbrio eletrostático, as cargas não se deslocam ao longo dele. Logo, tal componente não existe em um corpo que esteja em equilíbrio eletrostático.

5. O número de linhas que chegam à superfície do objeto, ou que saem dela, é proporcional à quantidade de carga que o corpo possui. Veja a seguir.

   Observe que chegam apenas sete linhas à carga negativa −Q, enquanto vinte e oito linhas saem da carga positiva 4Q.

O CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

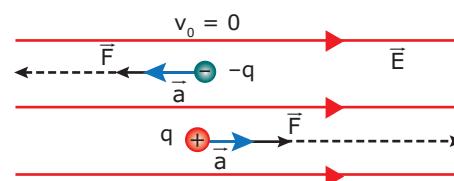
O campo elétrico uniforme é muito importante, devido a múltiplas aplicações que ele possui. Ele é produzido por placas planas eletrizadas e extensas. Considere a figura a seguir.

Veja que as linhas que saem das três cargas positivas destacadas estariam se cruzando e, como sabemos, isso não pode acontecer.

Considere duas placas eletrizadas com cargas de mesmo módulo e bem distantes uma da outra. As linhas dos seus campos de força, ao não se cruzarem, apresentam o comportamento mostrado a seguir.

Veja que, próximo às placas, na região central, as linhas são paralelas e igualmente espaçadas. Como sabemos, o valor do campo é representado pela distância entre as linhas de força. Assim, concluímos que em qualquer ponto dessa região, o campo apresenta o **mesmo valor,** a **mesma direção** e o **mesmo sentido**, ou seja, ele é um **campo uniforme**. Isso significa que o módulo do campo elétrico uniforme **não** varia inversamente com o quadrado da distância à carga fonte. Observe que o campo é uniforme apenas na região central da placa e para pontos próximos a ela (comparados à sua dimensão).

Como o campo tem a mesma intensidade em pontos centrais e próximos às placas, uma carga q receberá forças de mesmo módulo em qualquer um desses pontos em que for colocada. A força que atua na carga positiva tem o mesmo sentido do campo e, na negativa, tem sentido contrário a ele.

Se tivermos duas placas eletrizadas, com cargas de mesmo módulo e de sinais opostos, próximas uma da outra, os campos dessas irão se somar vetorialmente, de modo que o campo resultante na região externa às placas é nulo e, na região entre as placas, é uniforme. Vamos considerar apenas a região **central** das placas.

Fica como exercício você provar que, se as placas tivessem cargas de mesmo valor e sinal, o campo existiria apenas na região externa às placas e seria nulo na região entre elas.

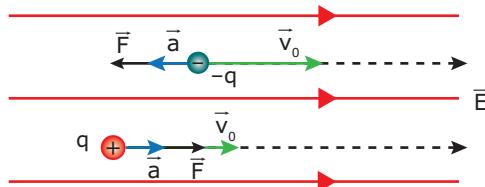
A figura a seguir mostra uma carga puntiforme, positiva, colocada próximo a uma placa condutora, extensa e neutra. A placa ficará induzida. Veja como são as linhas de força do campo elétrico na região entre a carga e a placa em duas e três dimensões.

No módulo sobre a Lei de Coulomb, vimos que um dielétrico pode ser atraído por um objeto eletrizado. Vejamos isso do ponto de vista do campo elétrico. Considere um pedacinho de papel próximo a um bastão eletrizado.

A parte do papel que está polarizada negativamente sofre ação de uma força em sentido contrário à linha de força, e a parte que está polarizada positivamente recebe uma força no mesmo sentido dela. Como o campo não é uniforme (mais intenso onde as linhas estão mais próximas), a força na lateral negativa é maior que a força na lateral positiva, gerando uma força resultante de atração.

Mas, o que acontecerá se o papel for colocado próximo a uma placa eletrizada? O papel, apesar de polarizado, não será atraído, nem repelido. O campo, sendo uniforme, tem o mesmo valor em qualquer ponto. Assim, as forças de atração e de repulsão têm o mesmo módulo (produzindo uma força resultante nula) e o pedacinho de papel permanecerá onde foi colocado.

MOVIMENTO DE UMA CARGA ELÉTRICA EM UM CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

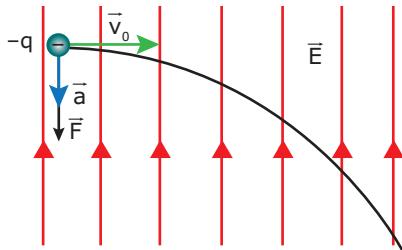
A seguir, discutiremos alguns tipos de movimentos que um objeto eletrizado, de peso desprezível, pode experimentar dentro de um campo elétrico uniforme.

1.º caso:

A carga q é colocada em repouso ($v_0 = 0$) dentro do campo.

O campo, sendo uniforme, aplica sobre as cargas **forças constantes** e, portanto, essas possuem acelerações também constantes. Como foram abandonadas, elas deslocam-se ao longo da linha de força (a positiva, no sentido da linha e a negativa, em sentido oposto), sempre aumentando o módulo de suas velocidades. Cada uma delas estará sujeita a um movimento retilíneo uniformemente acelerado.

2.° caso:

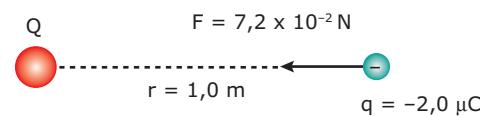
A carga q é lançada com uma velocidade $\vec{v}_0$ paralela à linha de força ($\vec{v}_0$ // $\vec{E}$).

A situação é idêntica ao caso anterior em termos de forças e acelerações (as forças e as acelerações são constantes). Temos aqui, porém, de considerar o sentido da velocidade inicial em relação ao sentido da aceleração. Observe o que acontece se as cargas são lançadas no mesmo sentido do campo.

As duas deslocam-se no mesmo sentido da linha de força (sentido da velocidade inicial). As cargas desenvolvem movimentos com aceleração constante. A positiva, cuja aceleração aponta para o mesmo sentido de $\vec{v}_0$, aumenta sua velocidade. A negativa, cuja aceleração está oposta a $\vec{v}_0$, tem o módulo de sua velocidade diminuído. Se acontecer de ela atingir o repouso ainda dentro do campo, a situação torna-se idêntica à situação discutida no 1º caso.

Fica de "Para casa" a tarefa de determinar os movimentos das cargas lançadas em sentido oposto ao campo.

3.° caso:

A carga q é lançada com uma velocidade inicial v_0 perpendicular à linha de força ($\vec{v}_0 \perp \vec{E}$).

Considere uma carga negativa. A aceleração e a força que atuam sobre essa carga têm, todo o tempo, sentido oposto ao do campo. A força e a velocidade inicial são perpendiculares entre si. Após o início do movimento, a força continua vertical para baixo, mas a velocidade será tangente à trajetória. Logo, a força e a velocidade não são mais perpendiculares. Por isso, o movimento será parabólico, de velocidade de módulo crescente e concavidade em sentido oposto ao campo – igual ao movimento de uma moeda lançada de cima de uma mesa, por exemplo.

Como exercício, demonstre que uma carga positiva terá movimento parabólico com a concavidade no mesmo sentido do campo.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

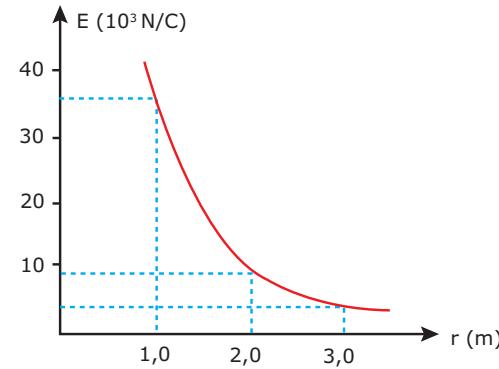
01. Uma carga pontual Q exerce sobre uma carga de prova $q = -2{,}0\ \mu C$, uma força $F = 7{,}2 \times 10^{-2}$ N, horizontal e voltada para a esquerda, conforme está representado na figura a seguir. As cargas estão no ar e a distância entre elas vale r = 1,0 m.

A) Determinar o sentido e o valor do campo elétrico no ponto onde a carga q se encontra.

B) Determinar o sinal e o módulo de Q.

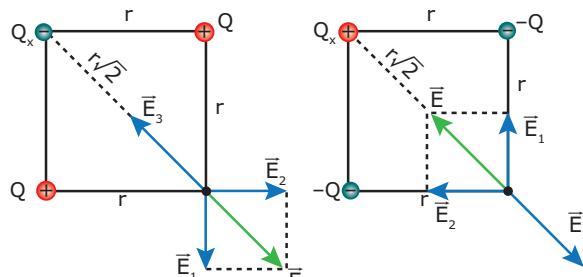
C) Construir o gráfico campo elétrico em função da distância até Q (E x r).

Resolução:

A) Como q < 0, os vetores força e campo elétrico apresentam sentidos opostos. Portanto, o campo elétrico no ponto onde a carga q se encontra é horizontal e voltado para a direita. O valor desse campo é:

$$E = \frac{F}{q} = \frac{7{,}2 \times 10^{-2}\ \text{N}}{2{,}0 \times 10^{-6}\ \text{C}} = 3{,}6 \times 10^4\ \text{N/C}$$

B) As cargas Q e q possuem sinais opostos, pois a força entre elas é atrativa. Como q < 0, concluímos que Q > 0. O módulo de Q pode ser calculado a partir da expressão para o cálculo do campo gerado por uma carga pontual:

$$E = \frac{K.Q}{r^2} \Rightarrow 3{,}6 \times 10^4 = \frac{9{,}0 \times 10^9.Q}{1{,}0^2}$$

$Q = 4{,}0 \times 10^{-6}\ C = 4{,}0\ \mu C$

C) O campo de uma carga puntiforme é inversamente proporcional ao quadrado da distância até a carga. Assim, o valor do campo em r = 2,0 m ($E = 9{,}0 \times 10^3$ N/C) é quatro vezes menor que em r = 1,0 m (36×10^3 N/C). Em r = 3,0 m ($E = 4{,}0 \times 10^3$ N/C), o campo é nove vezes menor que em r = 1,0 m. Veja o gráfico a seguir.

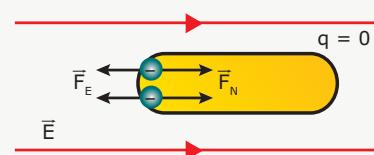
02. Duas cargas pontuais de módulos (Q) iguais e de mesmo sinal estão fixas nos vértices opostos de um quadrado. Determinar o módulo e o sinal de uma terceira carga (Q_x) colocada em um dos vértices livres, de modo a fazer com que o campo resultante, no quarto vértice, seja nulo.

Resolução:

As cargas (Q) produzem campos (E_1 e E_2), cada um de valor KQ/r^2 que, somados vetorialmente (diagonal de um quadrado), dão como resultado $E = \sqrt{2}KQ/r^2$.

A terceira carga (Q_x) deve produzir um campo (E_3) capaz de anular o campo (E). Assim:

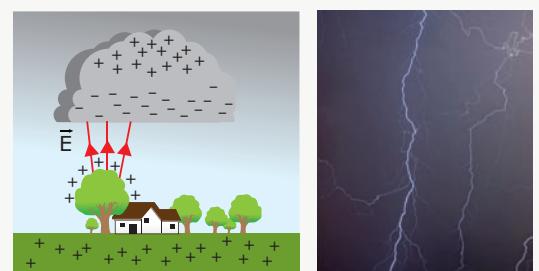
$$E_3 = E$$

$$K\frac{|Q_x|}{\left(\sqrt{2}r\right)^2} = \sqrt{2}K\frac{|Q|}{r^2}$$

$$|Q_x| = 2\sqrt{2}|Q|$$

Observe que, para isso, ela deve ter sinal oposto ao das cargas Q. Portanto, a carga procurada é $Q_x = -2\sqrt{2}Q$.

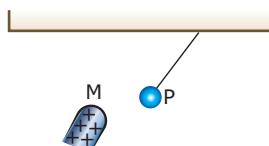
LEITURA COMPLEMENTAR

A rigidez dielétrica de um isolante

Sabe-se, pelo estudo da eletrização, que um meio dielétrico fica polarizado na presença de um corpo eletrizado. Apesar disso, não há movimento ordenado de cargas através dele. Vale, agora, observar o que acontece à medida que o valor do campo elétrico vai aumentando. Vamos focar a nossa atenção nos elétrons polarizados que estão à esquerda do corpo mostrado na figura a seguir.

Cada um dos elétrons fica sob a ação de duas forças: a força $\vec{F}_E$, exercida pelo campo elétrico, e a força $\vec{F}_N$, de atração exercida pelos núcleos, que é uma força um tanto limitada. Se o valor do campo vai aumentando, F_E aumenta na mesma proporção. Existe um valor de campo elétrico para o qual $F_E = F_N$. Tal valor é chamado de rigidez dielétrica do isolante. Ele corresponde ao **maior** valor que o campo elétrico ($E_{máx}$) pode possuir para que o isolante continue com a capacidade de impedir o movimento ordenado de cargas. O valor do campo máximo depende do material.

Se a intensidade do campo ultrapassar a rigidez do meio, os elétrons são arrancados dos átomos, tornando-se **livres**. Assim, os átomos ficam ionizados e haverá movimento ordenado de cargas através dele, ou seja, o meio, que era isolante, se tornou um **condutor**. Sendo sólido, apenas os elétrons arrancados se deslocam através dele. Se o meio for líquido ou gasoso, além de elétrons, íons positivos e negativos também irão se movimentar.

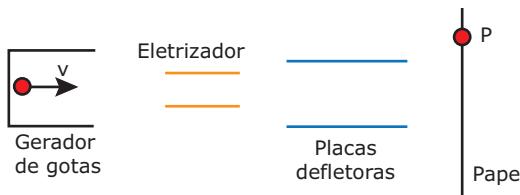
A rigidez dielétrica do ar, em condições normais, é $3,0 \times 10^6$ N/C. Algumas substâncias apresentam rigidez bem superior ao ar, como é o caso da parafina (três vezes maior) e da mica (vinte vezes maior). Se o ar estiver muito úmido, esse valor cai sensivelmente. É o que acontece em dias de tempestade. As nuvens, por razões que não interessam aqui, ficam eletrizadas com cargas positivas ou negativas. Isso induz uma carga de sinal oposto na superfície da Terra. Dessa forma, existe um campo elétrico entre a nuvem e a Terra. O valor do campo aumenta com a quantidade de cargas acumuladas na nuvem.

SXC

Se o campo ultrapassar o valor da rigidez dielétrica do ar, naquela região e naquele momento, ele se torna um condutor e uma quantidade de carga se desloca entre a nuvem e a Terra. É o famoso (e perigoso) raio ou faísca elétrica, comum em dias de chuva.

É possível calcular a quantidade de carga e de energia que se transfere entre uma nuvem e a Terra, durante uma descarga desse tipo. Veremos como fazer isso no estudo dos capacitores.

FÍSICA

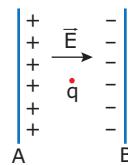
EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

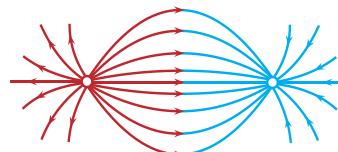
01. (UFMG) Um bastão de vidro M, eletrizado positivamente, é colocado nas proximidades de uma pequena esfera metálica P, não eletrizada, suspensa por um fio leve de material isolante. Observa-se que P é atraída por M. Considere as afirmativas seguintes:

I. Em virtude da indução eletrostática, na região de P mais próxima de M, aparecerá carga negativa.

II. A carga positiva e a carga negativa induzidas em P têm o mesmo valor absoluto.

III. A esfera P é atraída por M porque o campo criado pela carga de M não é uniforme.

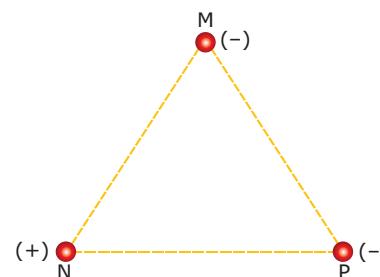
Pode-se concluir que

A) apenas a afirmativa I é correta.
B) apenas a afirmativa II é correta.
C) apenas as afirmativas I e II são corretas.
D) as afirmativas I, II e III são corretas.
E) apenas as afirmativas II e III são corretas.

02. (UFMG) A figura mostra, esquematicamente, as partes principais de uma impressora a jato de tinta.

Durante o processo de impressão, um campo elétrico é aplicado nas placas defletoras, de modo a desviar as gotas eletrizadas. Dessa maneira, as gotas incidem exatamente no lugar programado da folha de papel onde se formará, por exemplo, parte de uma letra. Considere que as gotas eletrizadas são negativas. Para que elas atinjam o ponto P da figura, o vetor campo elétrico entre as placas defletoras é **MELHOR** representado pelo vetor

A) ↓
B) ↑
C) ↗
D) ↘

03. (UFES) A figura mostra duas placas metálicas que produzem um campo elétrico uniforme. Uma partícula de massa m e carga q positiva é abandonada sem velocidade inicial na posição da figura. Desprezando-se a ação do campo gravitacional, o movimento da carga é

A) retilíneo e uniforme de A para B.
B) retilíneo e uniforme de B para A.
C) retilíneo e uniformemente acelerado de B para A.
D) retilíneo e uniformemente acelerado de A para B.
E) parabólico.

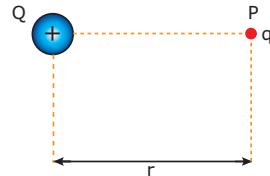
04. (UFF-RJ) Estão representadas, a seguir, as linhas de força do campo elétrico criado por um dipolo.

Considerando-se o dipolo, afirma-se que

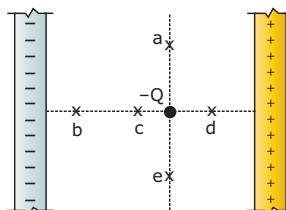
I. a representação das linhas de campo elétrico resulta da superposição dos campos criados pelas cargas puntiformes.

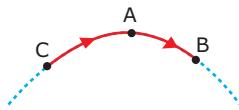
II. o dipolo é composto por duas cargas de mesma intensidade e sinais contrários.

III. o campo elétrico criado por uma das cargas modifica o campo elétrico criado pela outra.

Com relação a essas afirmativas, conclui-se que

A) apenas a I é correta.
B) apenas a II é correta.
C) apenas a III é correta.
D) apenas a I e a II são corretas.
E) apenas a II e a III são corretas.

05. (UFF-RJ) Três cargas elétricas puntuais, de módulos q e sinais conforme indicados na figura, formam um triângulo equilátero MNP. Assinale a alternativa que **MELHOR** representa as direções e sentidos dos vetores: força elétrica que atua na carga situada no ponto M e campo elétrico existente nesse mesmo ponto.

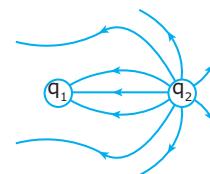
	Força elétrica	Campo elétrico
A)	←	←
B)	→	→
C)	↑	←
D)	←	→
E)	↑	↓

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

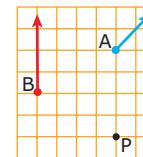
01. (UFLA-MG–2008) Uma carga elétrica Q > 0 gera um campo elétrico $\vec{E}$. Num ponto P, imerso nesse campo, coloca-se uma carga puntiforme q, a uma distância r de Q, que fica sujeita a uma força elétrica $\vec{F}$. Considerando esse enunciado, as alternativas a seguir estão corretas, **EXCETO**

A) se q > 0, os vetores $\vec{E}$ e $\vec{F}$ possuem o mesmo sentido.

B) se q < 0, os vetores $\vec{E}$ e $\vec{F}$ possuem sentidos contrários.

C) se q > 0 ou q < 0, o campo elétrico em P independe de q.

D) se q < 0, os vetores $\vec{E}$ e $\vec{F}$ no ponto P se anulam.

02. (UFPE–2008) A figura ilustra duas placas não condutoras, paralelas e infinitas, com a mesma densidade uniforme de cargas e separadas por uma distância fixa. A carga numa das placas é positiva, e na outra é negativa. Entre as placas, foi fixada uma partícula de carga negativa –Q, na posição indicada na figura. Determine em qual dos pontos o módulo do campo elétrico resultante tem o **MAIOR** valor.

A) a B) b C) c D) d E) e

03. (FEPECS-DF–2006) A figura mostra um trecho de uma linha de força de um campo eletrostático. Uma partícula de massa m e carga positiva q é abandonada em repouso no ponto A.

Suponha que a força eletrostática seja a força resultante sobre a partícula. Nesse caso, a partícula

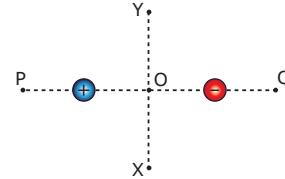
A) se moverá ao longo da linha de força de A para o ponto B.

B) permanecerá em repouso no ponto A.

C) não seguirá a linha de força, mas sua aceleração inicial é tangente à linha no ponto A e com sentido para a esquerda.

D) se moverá ao longo da linha de força no sentido de A para o ponto C.

E) não seguirá a linha de força, mas sua aceleração inicial é tangente à linha no ponto A e com sentido para a direita.

04. (FEI-SP) Quanto à representação das linhas de força da figura a seguir, podemos afirmar que

A) q_1 é positivo; q_2 é negativo e $|q_1| < |q_2|$.

B) q_2 é positivo; q_1 é negativo e $|q_2| > |q_1|$.

C) q_2 é negativo; q_1 é positivo e $|q_1| > |q_2|$.

D) q_2 é negativo; q_1 é positivo e $|q_2| = |q_1|$.

E) q_2 é positivo; q_1 é negativo e $|q_2| < |q_1|$.

05. (FUVEST-SP) O campo elétrico de uma carga puntiforme em repouso tem, nos pontos A e B, as direções e sentidos indicados pelas flechas na figura a seguir. O módulo do campo elétrico no ponto B vale 24 N/C. O módulo do campo elétrico no ponto P da figura vale, em N/C,

A) 3. B) 4. C) $3\sqrt{2}$. D) 6. E) 12.

06. (UFMG) A figura mostra duas esferas carregadas com cargas de mesmo módulo e de sinais contrários, mantidas fixas em pontos equidistantes do ponto O.

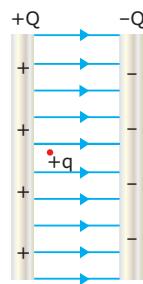
Considerando essa situação, é **CORRETO** afirmar que o campo elétrico produzido pelas duas cargas

A) não pode ser nulo em nenhum dos pontos marcados.

B) pode ser nulo em todos os pontos da linha XY.

C) pode ser nulo nos pontos P e Q.

D) pode ser nulo somente no ponto O.

07. (UFMG–2006) Duas pequenas esferas isolantes, I e II, eletricamente carregadas com cargas de sinais contrários, estão fixas nas posições representadas nesta figura:

A carga da esfera I é positiva e seu módulo é maior que o da esfera II. Guilherme posiciona uma carga pontual positiva, de peso desprezível, ao longo da linha que une essas duas esferas, de forma que ela fique em equilíbrio. Considerando-se essas informações, é correto afirmar que o ponto que **MELHOR** representa a posição de equilíbrio da carga pontual, na situação descrita, é o

A) R. B) P. C) S. D) Q.

08. (Unifor-CE–2010) Um fenômeno atmosférico bastante comum é o acúmulo de carga elétrica nas nuvens. Imagine que uma nuvem tenha adquirido uma grande quantidade de carga, de modo que o campo elétrico $\vec{E}$, criado em um ponto próximo da superfície da Terra, seja muito intenso. Este campo exerce uma força sobre uma partícula de massa m carregada com uma carga q capaz de anular seu peso. Se a direção deste campo for vertical e o sentido para baixo, podemos concluir que esta partícula

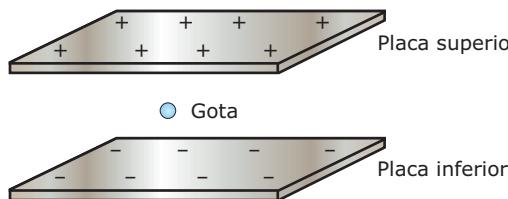
A) tem uma carga positiva e de valor q = E/mg.

B) tem uma carga positiva e de valor q = mg/E.

C) tem uma carga positiva e de valor q = mgE.

D) tem uma carga negativa e de valor q = E/mg.

E) tem uma carga negativa e de valor q = mg/E.

09. (UFMG) Observe a figura.

O campo elétrico entre duas placas carregadas com cargas iguais, mas de sinais contrários, é uniforme.

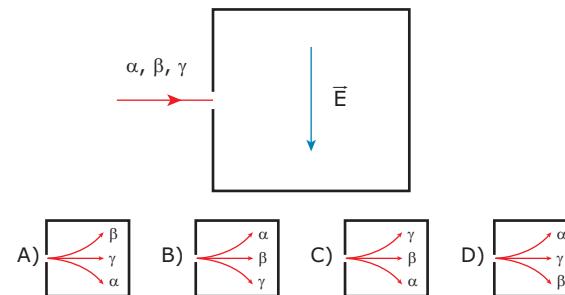
A respeito da força elétrica que atua sobre uma carga +q, colocada entre as referidas placas, pode-se afirmar que

A) aumenta à medida que a carga +q se distancia da placa negativa.

B) é inversamente proporcional à distância de +q à placa negativa.

C) é inversamente proporcional à distância de +q à placa positiva.

D) é nula, qualquer que seja a posição de +q entre as placas.

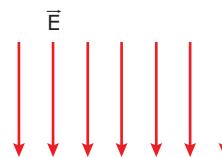
E) tem o mesmo valor, qualquer que seja a posição de +q entre as placas.

10. (UFMG) Em um experimento, o Professor Ladeira observa o movimento de uma gota de óleo, eletricamente carregada, entre duas placas metálicas paralelas, posicionadas horizontalmente. A placa superior tem carga positiva e a inferior, negativa, como representado nesta figura:

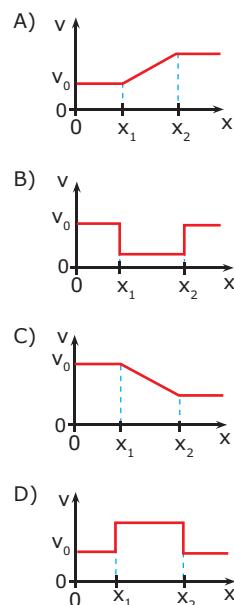
Considere que o campo elétrico entre as placas é uniforme e que a gota está apenas sob a ação desse campo e da gravidade. Para um certo valor do campo elétrico, o Professor Ladeira observa que a gota cai com velocidade constante. Com base nessa situação, é **CORRETO** afirmar que a carga da gota é

A) negativa e a resultante das forças sobre a gota não é nula.

B) positiva e a resultante das forças sobre a gota é nula.

C) negativa e a resultante das forças sobre a gota é nula.

D) positiva e a resultante das forças sobre a gota não é nula.

11. (UFV-MG–2010) Um feixe contendo radiações alfa (α), beta (β) e gama (γ) entra em uma região que possui um campo elétrico uniforme $\vec{E}$ (como mostra a figura a seguir). Considerando apenas a interação das radiações com o campo elétrico, a alternativa que representa **CORRETAMENTE** a trajetória seguida por cada tipo de radiação dentro da região com campo elétrico é:

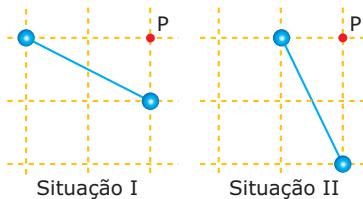
12. (UFPel-RS) Um pequeno corpo carregado positivamente e de peso desprezível é lançado em um campo elétrico uniforme, com velocidade inicial de sentido oposto ao do vetor campo elétrico. O movimento do corpo poderá ser,

A) inicialmente, retilíneo uniformemente retardado e depois retilíneo uniformemente acelerado.

B) inicialmente, retilíneo uniformemente acelerado e depois retilíneo uniformemente retardado.

C) inicialmente, retilíneo e uniforme e depois retilíneo uniformemente retardado.

D) sempre, retilíneo uniforme.

E) sempre, retilíneo uniformemente acelerado.

13. (UFU-MG) As linhas de força de um campo elétrico que estão no plano da folha são mostradas na figura. Uma partícula eletrizada positivamente é lançada perpendicularmente às linhas de força do campo elétrico. Desprezando a ação do campo gravitacional, podemos concluir que

A) a partícula será desviada para baixo.

B) a partícula descreverá um movimento retilíneo uniforme.

C) a partícula será acelerada, com uma trajetória retilínea.

D) a partícula adquirirá uma aceleração constante e de sentido contrário ao vetor velocidade.

E) a partícula executará um movimento harmônico simples.

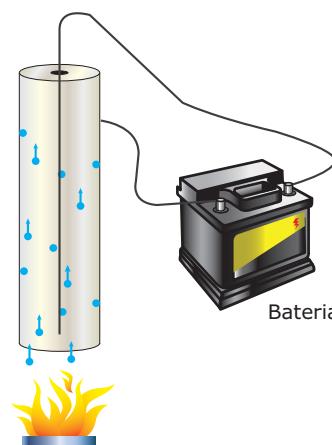
14. (UFMG) Na figura, um elétron desloca-se na direção x, com velocidade inicial $\vec{v}_0$. Entre os pontos x_1 e x_2, existe um campo elétrico uniforme, cujas linhas de força também estão representadas na figura. Despreze o peso do elétron nessa situação. Considerando a situação descrita, assinale a alternativa cujo gráfico **MELHOR** descreve o módulo da velocidade do elétron em função de sua posição x.

A)

B)

C)

D)

15. (FUVEST-SP) Duas pequenas esferas, com cargas elétricas iguais, ligadas por uma barra isolante, são inicialmente colocadas como descrito na situação I. Em seguida, aproxima-se uma das esferas de P, reduzindo-se à metade sua distância até esse ponto, ao mesmo tempo em que se duplica a distância entre a outra esfera e P, como na situação II. O campo elétrico em P, no plano que contém o centro das duas esferas, possui, nas duas situações indicadas,

A) mesma direção e intensidade.

B) direções diferentes e mesma intensidade.

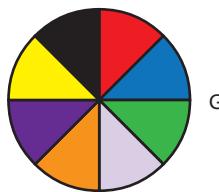
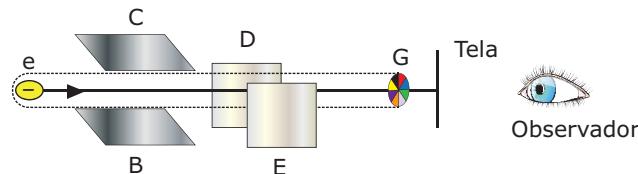
C) mesma direção e maior intensidade em I.

D) direções diferentes e maior intensidade em I.

E) direções diferentes e maior intensidade em II.

SEÇÃO ENEM

01. A poluição do ar é o mais perverso dos problemas ambientais urbanos. Ela mata sem que se perceba. O relatório 2008 / 2009 do Habita (programa das Nações Unidas para Assentamentos Humanos) informa que nos países da América Latina e no Caribe ocorrem 58 000 mortes prematuras por ano por doenças ligadas à poluição do ar. A razão óbvia é deque a acelerada expansão da frota de automóveis e de fábricas não se fez acompanhar de leis e mecanismos de controle, muito menos de tecnologia de filtragem de partículas.

Adaptação de texto publicado em 12 jan. 2009, no blog "Ambiente", de Ronaldo França, da Revista *Veja*.

Um dispositivo capaz de reduzir até 99% das emissões de partículas no ar são os filtros eletrostáticos. O esquema a seguir mostra um filtro eletrostático simples, cujo princípio de funcionamento é o seguinte. A bateria eletriza o cilindro e o fio central, ambos metálicos, com cargas de sinais opostos. Por isso, aparece um campo elétrico entre as paredes internas do cilindro e o fio. O resultado é que as partículas de fumaça são atraídas e retidas pelo sistema da mesma forma como um pente eletrizado atrai pedacinhos de papel.

Sobre o campo elétrico no interior do filtro e sobre o movimento das partículas de fumaça, é correto afirmar que

A) o campo é uniforme, e as partículas são atraídas pelo fio central.

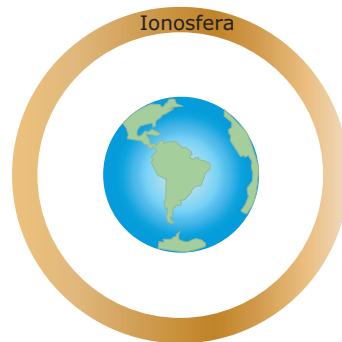
B) o campo é uniforme, e as partículas serão atraídas pelo cilindro.

C) o campo é uniforme, e as partículas são atraídas pelo cilindro e pelo fio.

D) o campo é não uniforme, e as partículas são atraídas pelo fio central.

E) o campo é não uniforme, e as partículas são atraídas pelo fio e pelo cilindro.

FÍSICA

02. Considere um aparelho de iluminação computadorizada hipotético, cujo objetivo é alternar cores diversas em função da música que está tocando no ambiente. Cada cor de luz emitida pelo aparelho é função da posição em que os elétrons (e), ejetados da parte de trás do dispositivo e que se deslocam dentro de um tubo de vidro, atingem o gerador de cores (G), mostrado a seguir. Essa distribuição de cores corresponde ao gerador visto por quem olha pela tela do aparelho. Se o elétron passa pelo interior de qualquer dos setores do gerador, a tela emite luz correspondente à cor do setor. Se o elétron passa exatamente pelo centro do gerador, a tela será iluminada por luz branca. Se o elétron passa na linha que separa dois setores, a luz do aparelho será uma combinação das duas cores desses setores.

Dentro do aparelho, existem dois pares de placas metálicas, CB e DE, entre as quais se estabelece um campo elétrico vertical (E_V) e outro horizontal (E_H), respectivamente. A função desses campos é desviar o elétron para o setor desejado do gerador de cores. Sabe-se que a força elétrica, sobre determinada carga, é proporcional ao módulo do campo elétrico. Veja o esquema do aparelho na figura a seguir.

Num determinado instante, os campos elétricos vertical (E_V) e horizontal (E_H) têm sentidos para baixo e para a esquerda, respectivamente, quando vistos pelo observador. Os módulos desses campos são tais que $E_H > E_V$. Assim, nesse instante, o iluminador estará emitindo luz

A) vermelha.
B) amarela.
C) azul.
D) verde.
E) alaranjada.

03. A poluição atmosférica é uma das grandes ameaças à saúde da população em geral. Ela é consequência, entre outras coisas, da industrialização e da combustão incompleta de combustíveis fósseis. Uma das mais perigosas são as partículas ultraleves, de peso da ordem de 10^{-10} N, geralmente invisíveis ao olhar das pessoas. Tais partículas ficam em suspensão no ar atmosférico, sendo inaladas durante a respiração, e são responsáveis por uma série de problemas respiratórios. Um grupo de cientistas propôs uma maneira de minimizar o problema, usando um recurso bem natural: o campo elétrico que existe em volta do planeta. A Terra apresenta em sua superfície um excesso de cargas e o espaço, logo acima da ionosfera, tem um excesso de cargas de sinal oposto.

Dessa forma, existe um campo elétrico radial entre a ionosfera e a superfície da Terra e o seu valor é da ordem de 100 N/C. Se todas as indústrias e os veículos automotores tivessem um dispositivo capaz de eletrizar negativamente, de maneira conveniente, as partículas que geram a poluição, elas seriam levadas para a alta atmosfera e a qualidade do ar ficaria dentro de padrões aceitáveis. Para que a proposta seja viável,

A) as partículas poluentes devem ser eletrizadas com carga superior a 10^{-12} C, e o campo elétrico deve apontar para a superfície da Terra.
B) as partículas poluentes devem ser eletrizadas com carga inferior a 10^{-12} C, e o campo elétrico deve apontar para a superfície da Terra.
C) as partículas poluentes devem ser eletrizadas com carga superior a 10^{-12} C, e o campo elétrico deve apontar para a ionosfera.
D) as partículas poluentes devem ser eletrizadas com carga inferior a 10^{-12} C, e o campo elétrico deve apontar para a ionosfera.
E) as partículas poluentes devem ser eletrizadas com carga de qualquer valor, desde que o campo elétrico aponte da ionosfera para a Terra.

GABARITO

Fixação

01. D 02. A 03. D 04. D 05. D

Propostos

01. D	04. B	07. C	10. C	13. A
02. D	05. D	08. E	11. A	14. A
03. E	06. A	09. E	12. A	15. B

Seção Enem

01. D 02. C 03. A